

RESPONDENDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM MOÇAMBIQUE



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE
MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL
INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES



Instituto Nacional de
Gestão de Calamidades



Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC)
FASE II

TEMA 5

Água

Outubro 2012

TEMA 5

Georg Petersen

Detalhe de contactos para correspondência:

Georg Petersen

gpetersen@hydroc.de
www.hydroc.de

+49 172 450 9149

HYDROC Consult
Siegum 4
24960 Siegum
Germany



Director do Projecto: Joao Tiago MM Ribeiro
Coordenadora do Projecto: Barbara van Logchem
Coordenador Científico: Antonio J Queface
Tradução: Jorge Mbanze

Relatório a ser referenciado como:

Peterson, G. 2012. *Respondendo as mudanças climáticas em Moçambique: Tema 5: Água.* Maputo: INGC.

Report layout:

DP Solutions

Contact details: magdelvdm@gmail.com

CONTEÚDOS

SUBCOMPONENT 1: SISTEMA DE APOIO À DECISÃO	20
1.1 TERMOS DE REFÊRENCIA	20
1.2 SUMÁRIO EXECUTIVO	26
1.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA	26
1.3.1 <i>Descrição geral da área – Bacia do Zambeze</i>	26
1.3.2 <i>Descrição específica – parte moçambicana da bacia</i>	28
1.4 METODOLOGIA	29
1.4.1 <i>Trabalho Preparatório (recolha de dados e informações)</i>	29
1.4.2 <i>Consulta de partes interessadas</i>	30
1.4.3 <i>Fontes de Dados</i>	31
1.5 RESULTADOS DA ANÁLISE DE DADOS	33
1.6 MODELO E DESCRIÇÃO DO SAD	63
1.6.1 <i>Estrutura Geral</i>	63
1.6.2 <i>Calibração</i>	69
1.6.3 <i>Interface do utilizador</i>	78
1.6.4 <i>Exemplos de aplicação</i>	98
1.6.5 <i>Limitações do SAD</i>	112
1.6.6 <i>Segurança do SAD</i>	113
1.7 RESUMO E CONCLUSÕES	114
1.8 RECOMENDAÇÕES	116
1.9 REFERÊNCIAS	118
SUBCOMPONENT 2: MODELIZAÇÃO DE CHEIAS	119
2.1 TRABALHOS ACORDADOS (TERMOS DE REFERÊNCIA DE ACORDO COM A PROPOSTA DO CONSULTOR APROVADA)	119
2.2 SUMÁRIO EXECUTIVO	119
2.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA	121
2.3.1 <i>O Rio Zambeze</i>	121
2.3.2 <i>O Rio Púngue</i>	123
2.3.3 <i>O Rio Limpopo</i>	124
2.4 METODOLOGIA	125
2.4.1 <i>Análise de Dados</i>	125
2.4.2 <i>Avaliação de probabilidades/incertezas</i>	133
2.4.3 <i>Descrição do modelo matemático usado</i>	133
2.4.4 <i>Estruturação do Modelo</i>	134
2.4.5 <i>Metodologia de mapeamento de Várzea</i>	136

2.4.6	<i>Calibração e validação do modelo</i>	137
2.5	RESULTADOS DO MAPEAMENTO DE CHEIAS	140
2.5.1	<i>Recomendações para o mapeamento de cheias</i>	149
2.6	FLOOD RISK ASSESSMENT (FRA) - AVALIAÇÃO DO RISCO DE CHEIAS	151
2.6.1	<i>Introdução</i>	151
2.6.2	<i>Descrição do local</i>	152
2.6.3	<i>Modelação</i>	152
2.6.4	<i>Análise de risco</i>	156
2.6.5	<i>Recomendações</i>	158
2.7	PROTECÇÃO CONTRA CHEIAS E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO	158
2.7.1	<i>Introdução a defesa contra cheias possibilidades de mitigação em Moçambique</i>	158
2.7.2	<i>Conservação da bacia</i>	160
2.7.3	<i>Preparação para Cheias</i>	163
2.7.4	<i>Projecto de construção resistente a cheias</i>	164
2.7.5	<i>Aperfeiçoamento das estruturas de retenção de cheias existente</i>	166
2.7.6	<i>Estruturas de defesa contra cheias</i>	167
2.7.7	<i>Políticas de desenvolvimento</i>	169
2.7.8	<i>Casos de estudo</i>	169
2.7.9	<i>Recomendações</i>	171
2.8	CONCLUSÕES	172
2.9	TREINAMENTO EM MODELAÇÃO DE CHEIAS	174
2.10	AGRADECIMENTOS	174
2.11	REFERÊNCIAS	175
SUBCOMPONENT 3: DRENAGEM URBANA		177
3.1	ÂMBITO DO TRABALHO	177
3.1.1	<i>Termos de Referência originais</i>	177
3.1.2	<i>Metodologia e plano de trabalho revistos após a fase inicial</i>	178
3.1.2.1	<i>Plano de trabalho adaptado conforme o aprovado pelo Cliente</i>	178
3.1.2.2	<i>Implementação final do plano de trabalho adaptado</i>	179
3.2	SUMÁRIO EXECUTIVO	180
3.3	DESCRIÇÃO DA ÁREA (MAPUTO E SUB-CAPTAÇÃO SELECIONADA)	184
3.3.1	<i>Descrição geral</i>	184
3.3.2	<i>Seleccção da sub-captação</i>	185
3.4	METODOLOGIA	189
3.4.1	<i>Metodologia do trabalho inicial</i>	189
3.4.1.1	<i>Trabalho preparatório (recolha de dados e informação, decisão sobre a sub-captação)</i>	189
3.4.2	<i>Consultas aos intervenientes</i>	190
3.4.3	<i>Delineação da área de captação</i>	192
3.4.3.1	<i>Delineação da área de captação com recurso ao Google Earth</i>	192
3.4.3.2	<i>Delineação da Bacia Hidrográfica para a Área de Estudo com ArcGIS Desktop 10</i>	194
3.5	ANÁLISE DE DADOS E MODELAÇÃO	198
3.5.1	<i>Análise de dados</i>	198
3.5.2	<i>ConFiguração do Modelo</i>	200
3.5.2.1	<i>Breve descrição do programa de modelação SWMM5</i>	200
3.5.2.2	<i>Características da área de estudo</i>	201
3.5.3	<i>Estudo de campo</i>	205
3.5.3.1	<i>Investigação na área de interesse referente a possíveis medidas de Gestão Integrada de Bacia Hidrográfica Urbana</i>	209
3.5.4	<i>Resultados finais da modelação</i>	211

3.5.5	<i>Conclusões da modelação</i>	239
3.5.6	<i>Elaboração de um manual para uso continuado do modelo</i>	240
3.5.7	<i>Formação básica em SWMM5</i>	240
3.6	CONSULTA AOS INTERVENIENTES	240
3.6.1	<i>Consulta aos intervenientes durante a fase inicial</i>	240
3.6.2	<i>Consulta aos intervenientes durante a fase principal</i>	242
3.7	RECOMENDAÇÕES	242
3.7.1	<i>Melhoria na manutenção do sistema de drenagem urbana actual</i>	243
3.7.2	<i>Novo cálculo e desenho de toda a actual infra-estrutura de drenagem urbana</i>	257
3.7.3	<i>Medidas estruturais</i>	258
3.7.4	<i>Outras recomendações</i>	259
3.8	REFERÊNCIAS	261
SUBCOMPONENT 4: CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA		262
4.1	SUMÁRIO EXECUTIVO	262
4.2	INTRODUÇÃO E CONTEXTO	270
4.2.1	<i>Introdução</i>	270
4.2.2	<i>Contexto Internacional</i>	270
4.2.3	<i>Contexto Nacional</i>	271
4.3	OBJECTIVOS E PERSPECTIVAS	281
4.3.1	<i>Objectivos</i>	281
4.3.2	<i>Beneficiários e Áreas de Actividade</i>	281
4.3.3	<i>Subsídios e Contribuição nos Custos pelos Agricultores</i>	285
4.4	TÉCNICAS DE GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA	287
4.4.1	<i>Técnicas Disponíveis de Gestão de Água para a Agricultura</i>	287
4.4.2	<i>Custos das Técnicas de Gestão de Água para a Agricultura</i>	296
4.4.3	<i>Benefícios da Produção Agrícola e do Rendimento Agrícola</i>	302
4.4.4	<i>Implicações das Mudanças Climáticas sobre a Produção Agrícola</i>	310
4.4.5	<i>Lista de Referência de Técnicas de Gestão de Água para a Agricultura</i>	314
4.5	ACTIVIDADES DO PROJECTO	318
4.5.1	<i>Seleção dos Beneficiários</i>	318
4.5.2	<i>Seleção de Técnicas de Gestão de Água para a Agricultura</i>	319
4.5.3	<i>Subsídio para Equipamentos, Insumos, Provedores de Serviços e Comercialização</i>	324
4.5.4	<i>Formação e Extensão</i>	326
4.6	ESCALA, GESTÃO, MONITORIA E AVALIAÇÃO	330
4.6.1	<i>Escala</i>	331
4.6.2	<i>Estrutura de Gestão</i>	331
4.6.3	<i>Gestão Financeira</i>	336
4.6.4	<i>Relatórios e Adaptação do Programa</i>	337
4.6.5	<i>Integração com o Sistema de Apoio à Autoridade da Água</i>	338
4.7	CUSTOS DO PROJECTO	339
4.7.1	<i>Custos de Todo o Projecto</i>	339
4.7.2	<i>Versões Menores do Projecto</i>	346
4.8	RESULTADOS E IMPACTO	348
4.8.1	<i>Produção Agrícola</i>	348
4.8.2	<i>Análise de Custo-Benefício</i>	348
4.8.3	<i>Impacto Sobre o Balanço Hídrico</i>	352
4.9	RISCOS	353
4.10	REFERÊNCIAS	356

ANEXO	361
A.2.1 DADOS TOPOGRÁFICOS	361
A.2.2 DADOS DE FLUXOS	362
A.2.3 DADOS GEOMÉTRICOS	365
A.2.4 TOPOGRAFIA E DADOS DE BATIMETRIA	367
A.2.5 REQUISITOS DE DADOS PARA UMA FRA	368
A.2.6 PRINCÍPIO DE POLÍTICAS PROPOSTO	369
A 3.1: QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS PARA AS ENTREVISTAS AOS MORADORES DURANTE O ESTUDO DE CAMPO	377
A 4.1: QUADRO LÓGICO	379
A 4.2: CUSTOS DE FORMACAO	380



Figuras & Tabelas

Figura 1-1:	Bacia do Zambeze	28
Figura 1-2:	Características ímpares da bacia do Zambeze.	29
Figura 1-3:	Conjunto de dados HydroSheds.	35
Figura 1-4:	Reservatórios do conjunto de dados GRanD na região da bacia do Zambeze.	35
Figura 1-5:	Conjunto de dados de cobertura vegetal AVHRR da bacia do Zambeze	36
Figura 1-6:	Localização de indicadores usados na bacia do Zambeze.	37
Figura 1-7:	Exemplo de hidrogramas mensais observados pelo GRDC referentes ao período de 1942 a 2009	37
Figura 1-8:	Escoamento médio mensal observado da bacia do Rio Zambeze no Senanga referente ao período 1948-2004. Dados do GRDC	37
Figura 1-9:	Disponibilidade de dados de estações do GPCC na bacia do Zambeze. Número de estações usadas para a interpolação da precipitação	38
Figura 1-10:	Disponibilidade de dados de estações para produtos de precipitação global em grelha no período 1961-1990.	39
Figura 1-11:	Comparação da precipitação média anual para o período 1961-1990.	39
Figura 1-12:	Precipitação média mensal da bacia do Zambeze referente ao período 1961-1990.	40
Figura 1-13:	Precipitação anual na bacia do Zambeze de 1901-2009.	40
Figura 1-14:	Tendências de precipitação a longo prazo na bacia do Zambeze de 1901-2009.	40
Figura 1-15:	Disponibilidade de dados de estações referentes aos dados da temperatura da CRU no período 1901-2009.	43
Figura 1-16:	Disponibilidade de dados de estações referentes aos dados de temperatura da CRU no período 1961-1990	43
Figura 1-17:	Temperatura média anual para 1961-1990. Dados da CRU.	44
Figura 1-18:	Mean monthly temperature in the Zambezi basin for the period 1961-1990.	44
Figura 1-19:	Temperatura anual da bacia do Zambeze no período 1901-2009 com base nos dados da CRU.	44
Figura 1-20:	Tendências a longo prazo da temperatura anual da bacia do Zambeze no período 1901-2009 com base nos dados da CRU.	45
Figura 1-21:	Evapotranspiração potencial média anual referente a 1961-1990. Dados da CRU.	48
Figura 1-22:	Evapotranspiração média mensal da bacia do Zambeze referente a 1961-1990.	48
Figura 1-23:	Evapotranspiração potencial anual da bacia do Zambeze referente a 1901-2009 com base nos dados da CRU	49
Figura 1-24:	Tendências a longo prazo de evapotranspiração potencial anual na bacia do Zambeze referentes a 1901-2009.	49
Figura 1-25:	Relação entre anomalias anuais de evapotranspiração potencial e temperatura na bacia do Zambeze.	50
Figura 1-26:	Localização de estações do CLIMWAT disponíveis e selecção de estações usadas com o modelo CROPWAT	50
Figura 1-27:	Modelo CROPWAT para o cálculo de evapotranspiração potencial através do método Penman- Monteith com dados do CLIMWAT. Exemplo da estação de Tete em Moçambique	51

Figura 1-28:	Visão geral da localização espacial dos dados de evapotranspiração potencial.	51
Figura 1-29:	Análise da evapotranspiração potencial graficamente representada contra a elevação em oito regiões distintas.	52
Figura 1-30:	Extensão espacial dos RCMs incluídos no projecto (cenário A1B)	55
Figura 1-31:	Exemplo de distribuição espacial da precipitação e temperatura média anual do ar (1990-2010) simulado pelos modelos climáticos. ICTP de ENSEMBLES (cenário A1B)	55
Figura 1-32:	Precipitação média anual projectada sob o cenário de emissões A1B. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze.	56
Figura 1-33:	Mudança da precipitação anual projectada sob o cenário de emissões A1B. Linha de base: 1990-2010. Agregação: em toda a bacia do Zambeze	56
Figura 1-34:	Média móvel de 15 anos de precipitação anual sob o cenário de emissões A1B. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze.	57
Figura 1-35:	Média móvel de 15 anos de mudança da precipitação projectada sob o cenário de emissões A1B. Linha de base: 1990-2010. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze.	57
Figura 1-36:	Temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A1B. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze	58
Figura 1-37:	Mudança da temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A1B. Linha de base: 1990-2010. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze	58
Figura 1-38:	Média móvel de 15 anos de temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A1B. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze	59
Figura 1-39:	Média móvel de 15 anos de mudança da temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A1B. Linha de base: 1990-2010. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze	59
Figura 1-40:	Precipitação anual projectada sob o cenário de emissões A2 e dados observados do GPCC. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze	60
Figura 1-41:	Média móvel de 15 anos de precipitação anual projectada sob o cenário de emissões A2 e dados observados do GPCC. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze	60
Figura 1-42:	Temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A2 e dados observados do CRU. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze	61
Figura 1-43:	Média móvel de 15 anos de temperatura anual do ar projectada sob cenário de emissões A2 e dados observados do CRU. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze	61
Figura 1-44:	Mudança da precipitação média anual de diferentes sub-bacias projectada por GCMs sob o cenário de emissões A2. Período de referência 1961-1990. Períodos futuros 2021-2050 e 2071-2100.	62
Figura 1-45:	Mudança da temperatura média anual de diferentes sub-bacias projectada por GCMs sob o cenário de emissões A2. Período de referência 1961-1990. Períodos futuros 2021-2050 e 2071-2100.	63
Figura 1-46:	Desenho Geral do SAD	66
Figura 1-47:	Conceito geral do Sistema de Apoio a Decisão (SAD). IMS...Sistema de Gestão de Informação. RBM. Modelo de Bacia Hidrográfica	67
Figura 1-48:	Sub-bacias do Módulo de Balanço Hídrico (WBM)	67
Figura 1-49:	Estrutura conceptual do Módulo de Balanço Hídrico (WBM)	68
Figura 1-50:	Pontos de Computação do Módulo de Distribuição de Água (WAM)	68
Figura 1-51:	Variáveis do Módulo de Distribuição de Água (WAM).	70
Figura 1-52:	Comparação de quatro diferentes fontes de dados observados referentes a descarga do Zambeze perto de Tete. Os dados diários foram agregados para valores mensais. Idealmente, não deverá haver quaisquer diferenças nos dados observados	73
Figura 1-53:	Dados observados de descarga do Zambeze em Senanga (a montante) e Katima Mulilo (a jusante).	73
Figura 1-54:	Hidrogramas mensais simulados (a vermelho) e observados (a preto) em localizações chave ao longo do Zambeze	74

Figura 1-55:	Hidrogramas mensais simulados (a vermelho) e observados (a preto) dos três principais afluentes do Zambeze	75
Figura 1-56:	Sazonalidade simulada (a vermelho) e observada (a preto) da descarga em localizações chave na bacia do Zambeze. Período 1961-1990	76
Figura 1-57:	Curva mensal simulada (a vermelho) e observada (a preto) de caudais classificados em localizações chave da bacia do Zambeze. Período 1961-1990.	77
Figura 1-58:	Descarga anual simulada (a vermelho) e observada (a preto) em localizações chave na bacia do Zambeze	78
Figura 1-59:	Níveis de água simulados e observados no reservatório de Kariba (no topo), Cahora Bassa (no meio) e Lago Malawi (parte inferior).	79
Figura 1-60:	Vista principal do SAD após início da sessão	81
Figura 1-61:	Exemplo de Open Street Map visualizado como camada de base no SAD. Rio Zambeze e a confluência do Rio Revubue perto de Tete, Moçambique.	82
Figura 1-62:	Exemplo de Google (Terreno) visualizado como camada de base no SAD. Rio Zambeze e a confluência do Rio Revubue perto de Tete, Moçambique.	83
Figura 1-63:	Exemplo de Google (Satélite) visualizado como camada de base no SAD. Rio Zambeze e a confluência do Rio Revubue perto de Tete, Moçambique.	84
Figura 1-64:	Elementos do modulo de distribuição de água (WAM) visualizado no SAD para a parte superior da bacia do Zambeze.	85
Figura 1-65:	Consulta da área de captação a montante a partir da camada SIG da rede hidrográfica no SAD. Exemplo de um segmento de rio a jusante do Rio Luenha em Moçambique	86
Figura 1-66:	Módulo do cenário climático do SAD	87
Figura 1-67:	Consulta de dados do cenário climático através de um clique nas sub-bacias. A visualização de dados abre numa nova janela.	88
Figura 1-68:	Módulo de desenvolvimento de cenário do SAD	89
Figura 1-69:	Interface para utilizadores com permissão de administrador para a edição de parâmetros de sub-bacias do modelo de balanço hídrico (WBM	90
Figura 1-70:	Afinação da rede de pontos de computação no SAD. Exemplo de inserção de novo ponto de computação após confluência do Rio Capoché com Rio Zambeze em baixo de Cahora Bassa, em Moçambique.	90
Figura 1-71:	Especificação de atributos para reservatórios controlados no SAD. Exemplo do reservatório de Cahora Bassa.	91
Figura 1-72:	Módulo de execução do SAD	92
Figura 1-73:	Especificação dos atributos de execução no SAD	93
Figura 1-74:	Módulo de análise do SAD	95
Figura 1-75:	Ferramenta de análise do SAD. Exemplo de series temporais de temperatura.	95
Figura 1-76:	Ferramenta de análise do SAD. Exemplo de séries temporais de temperatura.	96
Figura 1-77:	Ferramenta de análise do SAD. Exemplo de precipitação média mensal, evapotranspiração e escoamento	96
Figura 1-78:	Ferramenta de análise do SAD. Exemplo de curva mensal de caudais classificados de escoamento	97
Figura 1-79:	Exemplo de tabela de exportação a partir da ferramenta de análise do SAD.	98
Figura 1-80:	Módulo de ajuda do SAD	98
Figura 1-81:	Ferramentas de administrador para a gestão de contas de utilizadores no SAD	99
Figura 1-82:	Conceito geral de análise de cenário com o SAD	100
Figura 1-83:	Parte superior da bacia do Rio Luangwa no SAD	101
Figura 1-84:	Balanço hídrico sazonal da parte superior do Rio Luangwa. Período 1961-1990	101
Figura 1-85:	Reservatório de Cahora Bassa no SAD	103
Figura 1-86:	Lago Malawi no SAD.	104

Figura 1-87:	Factores de mudança delta definidas pelo utilizador para uma execução do SAD	105
Figura 1-88:	Ponto de computação de Tete no SAD	106
Figura 1-89:	Descarga média mensal a longo prazo (no topo) e curvas de caudais classificados (parte inferior) do Rio Zambeze em Tete. Impacto de dois cenários climáticos: o cenário do IPSL (à esquerda) é uma projecção seleccionada do GCM sob o cenário de emissões A2 com aumento na precipitação, e o cenário de mudança delta (à direita) é uma projecção baseada no cenário de emissões A1B com diminuição na precipitação	106
Figura 1-90:	Variação da descarga anual nas secções de controlo de 27 sub-bacias na bacia do Zambeze (o valor da sb_27 representa a bacia inteira do Rio Zambeze). O período de referência 1961-1990 usado para cenário de base. Futuros períodos 2021-2050 e 2071-2100. Impacto de dois cenários climáticos: o cenário do IPSL (no topo) é uma projecção seleccionada do GCM sob o cenário de emissões A2 com aumento na precipitação, e o cenário de mudança delta (parte inferior) é uma projecção baseada em cenário de emissões A1B com uma diminuição na precipitação.	107
Figura 1-91:	Condições de captação mensal de água num ponto de computação exemplar (pc_39 na sb_27).	109
Figura 1-92:	Rede de pontos de computação incluindo os reservatórios previstos de Batoka Gorge e Mphanda Nkuwa.	110
Figura 1-93:	Descarga média anual a longo prazo (à esquerda) e curva de caudais classificados (à direita) em Tete, sob impacto da mudança climática apenas (cenários de mudança delta – “DELTA” – referentes a 2021-2050 e 2071-2100) e combinações de mudança climática e impacto de desenvolvimentos (cenário de desenvolvimento moderado – “Mod_Dev” – referentes a 2021-2050 e o cenário de desenvolvimento elevado – “High_Dev” – referente a 2071-2100)	111
Figura 1-94:	Variação relativa da descarga anual nas 27 sub-bacias devido ao impacto de desenvolvimentos (cenário de desenvolvimento moderado – “Mod_Dev” – para 2021-2050 e cenário de desenvolvimento elevado – “High_Dev” - para 2071-2100, ambos em comparação com o cenário climático de mudança delta sem o desenvolvimento do respectivo período).	111
Figura 1-95:	Descarga média anual do Rio Zambeze (bacia inteira) sob cenários seleccionados de mudanças climáticas e de desenvolvimento.	112
Figura 2-1:	Fotografia aérea do rio Zambeze no cruzamento entre a Namíbia, Zâmbia, Zimbabwe e o Botswana	123
Figura 2-2:	Modelo de Elevação Digital (DEM), principais aglomerados e o modelo do rio Zambeze	123
Figura 2-3:	Cheias no baixo Púngue	124
Figura 2-4:	Modelo de Elevação Digital (DEM), principais aglomerados e modelo do Rio Púngue	124
Figura 2-5:	Fotografia Aérea do Rio Limpopo em Março de 2000 após as cheias devastadoras, sul de Moçambique	125
Figura 2-6:	Modelo de Elevação Digital (DEM), principais aglomerados e modelo do Rio Limpopo	125
Figura 2-7:	Perfis originais e corrigidos ao longo dos canais principais dos rios Zambeze, Limpopo e Púngue (Todos apenas dentro de Moçambique), note os picos e saliências ao longo do perfil original	127
Figura 2-8:	Imagem do Google Earth com a secção transversal (linha branca) em Marromeu orientado para leste (no topo) e a elevação do perfil antes e depois da correcção (em baixo).	128
Figura 2-9:	As mudanças de caudal dos rios em sub-bacias individuais sob pressão das mudanças climáticas comparados com a referência histórica para períodos de retorno de caudal de 2 e 20 vinte anos (dados do INGC 2009).	131
Figura 2-10:	Mudanças de fluxo previstas entre os cenários de base e de mudanças climáticas (Eixo-y em %) ao longo dos canais principais (Eixo-x em % da distancia a partir da foz) para períodos de retorno de 2 e 20 anos; serie de desvio padrao em cores claras. Quanto mais estreita for a serie de desvio padrao, maior sera a concordancia das mudanças de fluxo previstas (linhas continuas ou tracejadas)	133

Figura 2-11:	Valores de input baixos, prováveis e altos para a simulação de base (Nível 1) e de mudanças climáticas (Nível 2)	134
Figura 2-12:	Secção transversal do rio Pungue, a 116km da foz. Note o canal a 13km, a área elevada a 20km e a região inundada indicada pela linha azul..	138
Figura 2-13:	Comparação entre o fluxo e a altura de água modelados e registados (DNA 2011) (DNA 2011) fluxo/altura de água no Zambeze (ZAM), no Pungue (PUN) e no Limpopo (LIM) nas estações hidrológicas principais. Os desvios consideram-se como resultantes das diferenças entre a geometria das secções transversais reais e as secções estimadas	139
Figura 2-14:	Inundação mapeada e modelada para eventos históricos de calibração do modelo (2008 Zambezi, 2010 Pungué, 2000 Limpopo).	141
Figura 2-15:	Mapa de risco de cheias para o rio Limpopo no Chókwè para um cenário de base com períodos de retorno de 20 e 2 anos incluindo diagramas de incertezas	144
Figura 2-16:	Mapa de risco de cheias para o rio Limpopo no Chókwè, para cenários de mudanças climáticas com 20 e 2 anos de períodos de retorno incluindo os diagramas de incertezas	145
Figura 2-17:	Mapa de risco de cheias para o rio Zambeze para um cenário de 20 e 2 anos de Período de Retorno incluindo diagramas de incertezas	146
Figura 2-18:	Mapa de risco de cheias para o rio Zambeze em Tete para cenário de mudanças climáticas com período de retorno de 20 e 2 anos incluindo diagramas de incertezas	147
Figura 2-19:	Mapa do risco de cheias para o rio Zambeze em Caia para o cenário de base com períodos de retorno de 20 e 2 anos incluindo diagramas de incertezas	148
Figura 2-20:	Mapa do risco de cheias para o rio Zambeze em Caia para cenários de mudanças climáticas para períodos de retorno de 20 e 2 anos incluindo diagramas de incertezas	149
Figura 2-21:	LiDAR derived DEM com os edifícios e linhas tracejadas do rio (em preto) e a construção proposta (em azul)	153
Figura 2-22:	Velocidades de fluxo e profundidades da água para um período de retorno de 50 anos antes (a) e depois da construção dos armazéns; para efeitos comparativos, as diferenças de velocidade e profundidade da água são apresentadas em (c) e (d)	155
Figura 2-23:	Velocidades de fluxo e altura da água com 100 anos de período de retorno antes(a) e depois da construção dos armazéns; para comparação, as diferenças de velocidades e altura da água são apresentadas em (c) e (d)	156
Figura 2-24:	Mapas de perigo para (a) situação actual de um evento de 50 anos e (b) após a construção dos halls; (c) situação actual de um evento de 100 anos e (d) após a construção dos halls	158
Figura 2-25:	Mapa de severidade de degradação para a África Austral incluindo Moçambique	162
Figura 2-26:	Habitação típica de estacaria elevada	166
Figura 2-27:	O projecto típico de uma habitação de aterro elevado	167
Figura 2-28:	Secções transversais típicas dum dique.	169
Figura 3-1:	Maputo e a posição da sub-captação seleccionada dentro de Maputo	186
Figura 3-2:	Área de estudo nos bairros Maxaquene A e Mavalane A	188
Figura 3-3:	Confluência dos 3 principais canais abertos que cruzam a Av. Joaquim Chissano / Av. Acordos de Lusaka (círculo amarelo: saída da sub-captação modelada; círculos vermelhos: canaletas adjacentes com influência na saída modelada)	189
Figura 3-4:	Visualização de topografia com o programa TatumGIS	194
Figura 3-5:	Visualização de curvas de nível com o programa TatumGIS	194
Figura 3-6:	Passos aquando da criação do DEM (Figura em inglês)	196
Figura 3-7:	Codificação de direcções	197
Figura 3-8:	Direcções de fluxos calculadas para a área de estudo	197
Figura 3-9:	Canais existentes dentro da área de estudo (seta vermelha: saída da captação modelada)	198
Figura 3-10:	Colocação de pontos de fluidez para a área de estudo	198
Figura 3-11:	Bacia hidrográfica delineada via ArcGIS	199

Figura 3-12: Visão geral do Caso de estudo com sub-captações identificadas (S1, S2, ...) e Nós identificados de principais canais	203
Figura 3-13: Vista típica da área de estudo	204
Figura 3-14: Delineação da captação de estudo. As “sub-captações”, definidas no modelo SWMM, são mostradas em diferentes cores.	207
Figura 3-15: Medições tiradas no canal	208
Figura 3-16: Canaleta no cruzamento Av. Joaquim Chissano / Av. Acordos de Lusaka	209
Figura 3-17: Canal secundário no Bairro do Maxaquene	210
Figura 3-18: Resultados do estudo de campo, visão geral da secção	214
Figura 3-19: Resultados do estudo de campo, secção A	215
Figura 3-20: Resultados do estudo de campo, secção B	216
Figura 3-21: Resultados do estudo de campo, secção C	217
Figura 3-22: Resultados do estudo de campo, secção D	218
Figura 3-23: Visão geral do modelo melhorado com a nova estrutura de sub-captações	219
Figura 3-24: Secção longitudinal através de representação de modelo de canal de águas pluviais – cenário 1: “situação actual” mostrando elevações do nível de água.	222
Figura 3-25: Registou-se enchentes, de entre outros, nos cruzamentos J1, J4, e J24 no cenário da situação actual	223
Figura 3-26: Resultados das entrevistas referentes a ocorrência de enchentes	224
Figura 3-27: Na secção transversal longitudinal não existe uma clara diferença entre o Cenário 2: “Canaletas limpas” e o Cenário 1: “Situação actual” na altura do pico de enchente.	226
Figura 3-28: Secção longitudinal para o cenário 3: “canais E canaletas limpos” mostrando que regista-se enchente principalmente na saída da captação modelo (i.e., na extremidade direita da secção)	227
Figura 3-29: Possível localização da bacia de retenção de águas pluviais. As Sub-captações conforme a modelação em SWMM são mostradas em cores diferentes.	234
Figura 3-30: Plano esquemático de uma trincheira de infiltração (AMEC, 2001) (Figura em Inglês)	235
Figura 3-31: Possíveis locais para a fixação de trincheiras de infiltração (linhas vermelhas)	236
Figura 3-32: Pavimento permeável (AMEC, 2001). (Figura em Inglês)	238
Figura 3-33: Canaleta no canal de águas pluviais ao longo da Av. Acordos de Lusaka no Bairro Maxaquene A	244
Figura 3-34: Vista de trás da mesma canaleta	245
Figura 3-35: Canal secundário no Bairro Maxaquene A, parcialmente repleto de resíduos sólidos	245
Figura 3-36: Principal canal de águas pluviais ao longo da Av. Acordos de Lusaka no Bairro Maxaquene A com um “caudal de base” de aprox. 10 l/s águas residuais domésticas e com depósitos de resíduos sólidos.	246
Figura 3-37: Ponte sobre o canal de águas pluviais ao longo da Av. Acordos de Lusaka que serve de canaleta parcialmente bloqueada devido aos depósitos de resíduos sólidos volumosos	246
Figura 3-38: Canal secundário no Bairro Maxaquene A, desactivado devido ao bloqueio por resíduos sólidos	247
Figura 3-39: Parte à montante do principal canal de águas pluviais na Av. Joaquim Chissano (vista de jusante), completamente bloqueado por sedimentos	247
Figura 3-40: Parte à montante do principal canal de águas pluviais na Av. Joaquim Chissano (vista de jusante), completamente bloqueado por sedimentos	248
Figura 3-41: Afluxo de vários canais secundários para o principal canal de águas pluviais na Av. Joaquim Chissano, directamente à jusante do canal bloqueado mostrado na Figura 3.39 e Figura 3.40	248
Figura 3-42: Canal secundário no Bairro Maxaquene: bloqueado intencionalmente pelos moradores para obter acesso as suas residências	249
Figura 3-43: Canal de águas pluviais, completamente bloqueado por vegetação	249

Figura 3-44:	Entrada de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo: bloqueada por resíduos sólidos	250
Figura 3-45:	Entrada de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo: bloqueada, água não entra no sistema de esgotos	250
Figura 3-46:	Entrada de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo: bloqueada por resíduos sólidos	251
Figura 3-47:	Entrada de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo: bloqueada, água não entra no sistema de esgotos	251
Figura 3-48:	Canal secundário no Bairro Mafalala. Bloqueado por baixo das lajes de betão que foram colocadas sobre o canal para passagem pedonal	252
Figura 3-49:	Canal secundário no Bairro Mafalala. Bloqueado por baixo das lajes de betão que foram colocadas sobre o canal para passagem pedonal	252
Figura 3-50:	Canal de drenagem próximo ao Bairro Mafalala. A seta vermelha marca a posição onde a fotografia (Figura 3.51) abaixo foi tirada	253
Figura 3-51:	Canal secundário no Bairro Maxaquene. Quase completamente bloqueado por resíduos sólidos	253
Figura 3-52:	Canal de drenagem próximo ao Bairro Mafalala, bloqueado por resíduos sólidos e vegetação.	254
Figura 3-53:	O mesmo que acima. Os trabalhadores que estão a limpar o canal não possuem ferramentas adequadas para o limparem devidamente.	254
Figura 3-54:	Canal secundário no Bairro Sommerschild / Polana Caniço A (próximo a bacia de retenção)	255
Figura 3-55:	Canal secundário no Bairro Sommerschild, bloqueado por sedimentos.	255
Figura 3-56:	Canal secundário no Bairro Sommerschild / Polana Caniço A (próximo a bacia de retenção)	256
Figura 3-57:	Bacia de retenção inacabada a Norte de Sommerschild (na Av. Julius Nyerere)	256
Figura 4-1:	Impacto da Mudança Esperada de Evapotranspiração sobre a Produção de Milho	279
Figura 4-2:	Mapa de Queda de Chuvas e Distribuição Mensal em Mabote, Caia e Beira.	283
Figura 4-3:	Variação em termos da produtividade de milho ao longo de Moçambique	284
Figura 4-4:	Custos e Margens Actuais de Culturas	285
Figure 4-5:	Valas e Escavações	292
Figura 4-6:	Custos das Técnicas de Gestão de Água Azul	299
Figura 4-7:	Custos das Opções de bombagem	300
Figura 4-8:	Margens e custos de GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA para legumes e milho/feijões	304
Figura 4-9:	Produtividade das Culturas de Irrigação e de Sequeiro (Figura em parte em Inglês)	305
Figura 4-10:	Variação da precipitação ao longo dos últimos 40 anos	310
Figura 4-11:	Média de precipitação e mudanças de previsão de chuvas	312
Figura 4-12:	Mudanças previstas no futuro (2046-2065) de milho (à esquerda) e soja (à direita) – níveis de culturas expressos em % e em comparação com os níveis actuais	314
Figura 4-13:	A relação de futura precipitação média anual contra a precipitação media anual passada para os sete diferentes GCMs e a média de todos os modelos GCM	314
Figura 4-14:	Adequação dos solos para a irrigação de superfície na bacia do Zambeze	321
Figura 4-15:	Áreas com potencialidade de acesso a fontes de águas dos rios na bacia do Zambeze	322
Figura 4-16:	Estrutura e Gestão do PAGAA	333
Figura 4-17:	Fluxo Financeiro	338
Figura 4-18:	Relações de Custo Benefício para as principais opções de GAA	350
Figura A2.1.1:	Diagrama de Hey e Thorne's (1986) equação empírica para derivar a profundidade a partir da largura e inclinação	362
Figura A2.3.1:	Linhas (vermelho) de secção transversal calculadas automaticamente com o eixo central de fluxo (azul) e linhas da margem digitadas (castanho) para a parte baixa do rio Limpopo	366
Figura A2.3.2:	Exemplo de uma secção transversal do Limpopo, com os pontos das margens em vermelho, áreas de fluxos não efectivos abaixo da linha verde, superfície da terra em preto, valores de rugosidade de Manning's n para secções no topo	367

Tabelas

Tabela 1-1:	Afluentes do Zambeze em Moçambique.	28
Tabela 1-2:	Temperatura média mensal do ar (°C) das sub-bacias do SAD. Dados da CRU. Período 1971-2000	41
Tabela 1-3:	Estimativas de evapotranspiração potencial nas sub-bacias do SAD.	46
Tabela 1-4:	Modelos climáticos	52
Tabela 1-5:	Resumo de projecções de precipitação sob o cenário de emissão A1B. Bacia inteira do Zambeze	53
Tabela 1-6:	Resumo de projecções de temperatura do ar sob o cenário de emissão A1B. Bacia inteira do Zambeze	53
Tabela 1-7:	Conjunto Pré-definido de pontos de computação do Módulo de Distribuição de Água (WAM).	68
Tabela 1-8:	Procedimento de calibração e estatística de desempenho. PC identifica a localização (ver Tabela 1-7) e corresponde às sub-bacias definidas na Figura 1.48	71
Tabela 1-9:	Cenários climáticos no SAD	103
Tabela 1-10:	Cenários de desenvolvimento pré-definidos no SAD	107
Tabela 1-11:	Irrigation demand in the pre-defined irrigation scenarios	108
Tabela 1-12:	Execuções típicas no SAD (combinações de um cenário de desenvolvimento, de um cenário climático e de um período de simulação); análises de execuções coloridas são apresentadas aqui, as cores correspondem que estão na Figura 1.95.	111
Tabela 2-1:	Classes de Rugosidade e seus respectivos valores de Manning's n	128
Tabela 2-2:	Sumário dos dados usados para estabelecer os modelos HEC-RAS	135
Tabela 2-3:	Comparação entre os eventos de cheia modelados (HEC-RAS) e observados (DFO)	139
Tabela 2-4:	Descrição de custos para o Caso 2 secção do dique (3m de altura do dique)	171
Tabela 2-5:	Descrição de custos para o Caso 2 secção do dique (5m de altura do dique)	171
Tabela 2-6:	Participantes na formação em modelagem de cheias	174
Tabela 3-1:	Plano de trabalho adaptado para a principal fase do projecto (Fases 2-4) conforme foi definido durante a fase inicial (Fase 1)	179
Tabela 3-2:	Disponibilidade de dados para a modelação do escoamento de águas pluviais em Maputo	200
Tabela 3-3:	Propriedades geométricas de sub-captações na área de estudo	201
Tabela 3-4:	Intensidade (cumulativa) e duração para precipitação (DNA, 2005)*	204
Tabela 3-5:	Tempestade-tipo	205
Tabela 3-6:	Elevações da soleira dos nós/cruzamentos no modelo melhorado de acordo com os resultados do estudo de campo	212
Tabela 3-7:	Propriedades geométricas da soleira de sub-captações no modelo melhorado de acordo com o estudo de campo	218
Tabela 3-8:	Canaletas modeladas, seu diâmetro disponível hidraulicamente e seu estado real	220
Tabela 3-9:	Resumo da inundação do nó para o Cenário 1: "situação actual" e tempestade-tipo de 2 anos / 40 minutos (Tabela em Inglês)	221
Tabela 3-10:	Resumo da enchente do nó para o cenário 2 2: "canaletas limpas" (Tabela em Inglês)	224
Tabela 3-11:	Resumo da enchente do nó para o cenário 3: "canais e canaletas limpos" (Tabela em Inglês)	226
Tabela 3-12:	Resumo da enchente do nó para o Cenário 4a: "50% de alargamento das canaletas" (Tabela em Inglês)	227
Tabela 3-13:	Resumo da enchente do nó para o cenário "100% de alargamento das canaletas" (Tabela em Inglês)	228

Tabela 3-14: Resumo da enchente do nó para um aumento em 20% de intensidade pluviométrica (Tabela em Inglês)	230
Tabela 3-15: Comparação entre diferentes aumentos de intensidade pluviométrica em relação ao Cenário 3	231
Tabela 3-16: Resumo de trincheiras de infiltração	235
Tabela 3-17: Comparação de taxas de enchente no cruzamento J7 (próximo da saída da captação) sob as condições actuais com e sem trincheira de infiltração	236
Tabela 3-18: Matriz dos objectivos do SuDS seleccionados (adaptado de; AMEC, 2001; CIRIA, 2007).	237
Tabela 3-19: Resumo do escoamento do pavimento permeável	238
Tabela 3-20: Seminário de Intervenientes a 21 de Setembro de 2011 em Maputo	241
Tabela 4-1: Centros, EMCs, Beneficiários e Hectares	285
Tabela 4-2: Exemplos de Sistemas Integrados de Gestão de Água para a Agricultura	290
Tabela 4-3: Descrição resumida de adequação, vantagens e desvantagens das técnicas de gestão de água para a agricultura	295
Tabela 4-4: Custo das Técnicas de Gestão de Água Azul	297
Tabela 4-5: Exemplos de Captação de Água em África para Produção Agrícola	300
Tabela 4-6: Resposta de culturas à água (terreno de 1000 m ²)	305
Tabela 4-7: Margens de cultura por hectare	307
Tabela 4-8: Relação entre Custo e Benefício das Técnicas de GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA, excluindo a formação e gestão de projectos.	314
Tabela 4-9: Resumo dos Pacotes Seleccionados	315
Tabela 4-10: Apoio necessário para técnicas Gestão de Água para a Agricultura incluídas na Lista de Referência	318
Tabela 4-11: Guia de viabilidade técnica das técnicas de GAA	321
Tabela 4-12: Adequação de técnicas de GAA para as diferentes culturas	322
Tabela 4-13: Adequação económica das tecnologias de GAA	323
Tabela 4-14: Hierarquia do Pessoal	327
Tabela 4-15: Provisão de Pessoal do Projecto	333
Tabela 4-16: Resumo custos	339
Tabela 4-17: Custos de Gestão e Extensão	341
Tabela 4-18: Custos de Formação	342
Tabela 4-19: Média de Subsídios Necessários para Equipamento e Insumos Agrícolas (\$/ha/época)	343
Tabela 4-20: Custos de Subsídios para os Agricultores e Incentivos	345
Tabela 4-21: Custos e benefícios das técnicas de Gestão de Água para a Agricultura seleccionadas (\$/ha/época)	349
Tabela 4-22: Custos e fluxo de benefício do PAGAA, excluindo a resiliência climática e replicação	350
Tabela 4-23: Sensibilidade da TIR a Pressupostos	352
Tabela 4-24: Intensidade de capital das técnicas de GAA	354
Tabela A2.2.1 Cenários de fluxos de base, fonte de dados entre parêntesis	363
Tabela A2.2.2 Cenários de fluxos de mudanças climáticas derivados	364
Tabela A2.4.1: Custos aproximados em US\$ para a obtenção de base de dados topográficos bem como batimétricos de alta resolução para o FRA	366
Tabela A: Zonas de cheias	371
Tabela B: Classificação de Risco de Vulnerabilidade	372

Quadro

Quadro 3.1:	Medidas para eliminar as enchentes urbanas – Estudo de Caso de Maputo	183
Quadro 4.1:	Experiência Anterior com Subsídios Rurais em Moçambique	286
Quadro 4.2:	Experiência com a Agricultura de Conservação em Moçambique e em África	292
Quadro 4.3:	Métodos Analíticos para Avaliar o Impacto da Disponibilidade de Água em Culturas de Rendimento	305
Quadro 4.4:	Furos Rota Lamas	315
Quadro 4.5:	Experiências anteriores com Escolas na machamba do camponês em Moçambique	327
Quadro A2.6.1	Avaliações Estratégicas de Risco de Cheias	364
Quadro A2.6.2	Avaliações de risco de cheias para locais específicos	366
Quadro A2.6.3	Requisitos para a Avaliação do Risco de Cheias	367
Quadro A2.6.4	Teste Sequencial	368
Quadro A.2.6.5:	Teste de Excepção	370

Abbreviations & Acronyms

AC	Agricultura de Conservação
AdH	Hidráulica Adaptiva
AfDB	Banco Africano de Desenvolvimento
AGRA	Aliança para o Desenvolvimento Verde em Africa
AIAS	Administração de Infraestruturas de Agua e Saneamento
AKF	Fundacao Aga Khan
API	Interface de Aplicação de Programação
ASTER	Radiômetro Avançado de Emissão e Reflexão Térmica
AWSP	Projecto de Soluções de Agua para a Agricultura
AVHRR	Radiômetro Muito Avançado de Alta Resolução
AWM	Gestão de Aguas para a Agricultura
AQP	Programa Anual de Trabalho
AZ	Agua Azul
BAD	Banco Africano de Desenvolvimento
BAGC	Corredor de Crescimento Agrícola da Beira
BM	Banco Mundial
BW	Blue Water o Agua Azul (AZ)
CA	Captação de Água
CAD	Projecto Suportado pelo Computador
CAL	Licença de Acesso ao Cliente
CC	Mudanças Climáticas
CCTV	TV de Circuito Fechado
CENOE	Centro Nacional de Operações de Emergência
CGIAR	Grupo Consultivo de Investigação Internacional Agrícola
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIDA	Agência Canadiana para o Desenvolvimento Internacional
CIMMYT	Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (Mexico)
CMM	Councilho Municipal de Maputo
CNRM	Centro Internacional de Investigações Meteorológicas (França)
CORDEX	COordinated Regional Climate Downscaling Experiment
CP	Procedimento de Calibração
CRSP	Programa de apoio costeiro rural
CRU	Unidade de Investigação Climática
CSIRO	Organização Científica e de Investigação Industrial da Commonwealth
CSM	Estrela Limpa de Moçambique
CWP	Produtividade de Agua da Planta
DARIDA	Programa de Terras Secas do INGC
DAU	Departamento de Água Urbana
DEM	Modelo Digital de Elevação (MDE)
DFID	Departamento para o Desenvolvimento Internacional (Reino Unido)
DFO	Observatório de Cheias de Dartmouth
DGRH	Departamento de Gestão de Recursos Hídricos
DMI	Instituto de Meteorologia da Dinamarca

DNA	Direcção Nacional das Águas
DRMP	Projecto de Gestão de Risco de Desastres
DSC	Comité Distrital
DSS	Sistema de Suporte de Decisões
DWA	Departamento de Aguas da Zâmbia
EACC	Economia das Adaptações as Mudanças Climáticas
EMC	Escola na Machamba do Camponês
ESRI	Instituto de Investigação de Sistemas Ambientais
ET	Evapotranspiração
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FdF	Fundo de Fomento
FEM	Fundo Emprarial de Moçambique
FFS	Farmer Field School
FIDA	Fundo Internacional para o Desenvolvimento Agrícola
FIPAG	Fundo de Investimento e Patrimonio do Abastecimento de Agua
FRA	Avaliação de Risco de Cheias
GAA	Gestão de Água para a Agricultura
GCM	Modelo Climático Global
GPCC	Centro Global de Climatologia de Precipitação
GRanD	Dados Globais de Reservatórios e Albufeiras
GHCN	Rede Global Histórica de Climatologia
GIS	Sistema de Informação Geográfica (SIG)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit Ex-GTZ e outras agências
GPCC	Centro Global de Climatologia
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GPZ	Gabinete de Planificação e Desenvolvimento do Vale do Zambeze
GRDC	Centro Global de Dados de Escoamento
GUI	Interface Gráfica do Usuário
HBV	Modelo de Transporte Hidrológico
HEC-RAS	Sistema de Análise de Rios
IADP	Projecto de Desenvolvimento Integrado da Agricultura
ICRISAT	Instituto de Trópicos Semi-áridos
ICTP	Centro Internacional de Física Teórica (Itália)
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IFAD	Fundo Internacional para o Desenvolvimento Agrícola (Itália)
IFDC	Centro Internacional de Desenvolvimento de Fertilizantes
IIAM	Instituto Nacional de Investigação Agronómica
IMS	Sistema de Gestão de Informação
INAM	Instituto Nacional de Meteorologia
INGC	Instituto Nacional de Gestão de calamidades
INM	Instituto Nacional de Meteorologia (Espanha)
IPCC	Painel intergovernamental de Mudanças Climáticas
IPSL	Instituto Pierre Simon Laplace (França)
IRD	International Relief and Development (EUA)
IRR	Taxa de Retorno Interna
IWMI	Instituto Internacional de Gestão de Aguas (Sri Lanka)
IWRM	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
LBPTC	Comité Técnico Permanente da Bacia do Limpopo
M&E	Monitoria e Avaliação
MCG	Modelo Climático Global

MCR	Modelo Climático Regional
MDE	Modelo Digital de Elevação
MGC	Modelos Globais de Clima
MINAG	Ministério da Agricultura
moDDS	multi-objective Dynamically Dimensioned Search
MPD	Ministério da Planificação e Desenvolvimento
MPI-M	Instituto Max Planck de Meteorologia (Germany)
MR	Relatório Mensal
NA	Nível de Água
NCPAMP	Plano Director de Prevenção e Alívio de Calamidades Naturais
NHS	Serviços Nacionais Hidrológicos (Namibia)
NGO	Non Governmental Organization o Organização Não Governamental (ONG)
NSE	Eficiência de Nash-Sutcliffe
OIIL	Orçamento de Desenvolvimento de Iniciativas Locais
ONG	Organização Não Governamental
O&M	Operação e Manutenção
ORAM	Associação Rural de Ajuda Mútua
PAGAA	Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura
PAPA	Plano de Acção da Produção Agrícola
PARPA	Plano de Acção para a Redução da Pobreza Absoluta
PEDSA	Plano Estratégico do Sector Agricola
PET	Evapotranspiração Potencial
PPFD	Projecto de Planificação e Finanças Descentralizadas
PPP	Parcerias Público-Privadas
PPS25	Declaração de Políticas de Planeamento Britânico 25
PROAGRI	Programa de Desenvolvimento do Sector Agrário
PRODER	Programa de Desenvolvimento Rural
PROMECC	Promoção Económica de Camponeses
PRONSAR	Programa Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento Rural
Q	Fluxo ou caudal
RBM	Modelo da Bacia Hidrográfica
RCB	Rácio de Custo-Benefício
RCM	Modelo de Clima Regional
RCSA	Centro regional para a Africa Austral
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
Sb	Sub-Bacia
SC	Sub-Componente do relatório em mão
SCE	Shuffled Complex Evolution
SDC	Cooperação Suíça para o Desenvolvimento
SFRA	Avaliação Específica do Risco de Cheias
SGI	Sistema de Gestão de Informações
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPAWM	Projecto de Apoio a Gestão de Agua para a Agricultura
SQL	Structured Query Language
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
SSA	Africa Sub-Sahariana
SSB	SPAWM Steering Body
SuDS	Sistema Sustentáveis de Drenagens Urbanas
SWMM	Modelo de Gestão de Aguas Pluviais
TOR	Termos de Referência (TdR)
TdR	Termos de Referência

TIR	Taxa Interna de Retorno
TP	Proposta Técnica
UEM	Universidade Eduardo Mondlane (Maputo)
UNEP	Programa da Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNFCCC	Convenção das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas
UNHabitat	Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos
USACE	Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano
USAID	Agência Americana para o Desenvolvimento Internacional
USEPA	Agência Americana de Protecção Ambiental
USGS	Agência Americana de Investigação Geológica
VAT	Value Added Tax o Imposto de valor acrescentado (IVA)
WAM	Módulo de Atribuição de Água
WBM	Módulo de Balanço Hídrico
WB	World Bank o Banco Mundial (BM)
WH	Coleta de água
WWF	World Wildlife Fund
WL	Nível de Água
YER	Relatório de Evaporação Anual
YWP	Programa Anual de Trabalho
ZRA	Autoridade de Gestão do Rio Zambeze

SUBCOMPONENT 1: SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

1.1 TERMOS DE REFÊRENCIA

APRECIÇÃO DE SERVIÇO

Um sistema de apoio à decisão (SAD) hídrico, online e interativo será desenvolvido para a captação do Rio Zambeze que pode ser utilizado para a análise de cenários de desenvolvimento de recursos hídricos actuais e futuros. O sistema permitirá que diferentes partes interessadas em Moçambique (e também nos países a montante) avaliem rapidamente o impacto de quaisquer novos desenvolvimentos de recursos hídricos e mudanças induzidas pelo clima sobre a infraestrutura a jusante e sobre o abastecimento de água. Acréscimos em fases posteriores consistiriam em alargar o SAD para a bacia do Limpopo e Pungué.

Será dada grande prioridade ao desenvolvimento de um aplicativo baseado na web que é fácil de compreender e usar e oferece alto desempenho computacional para que avaliações rápidas online de determinados cenários climáticos e de demanda de água sejam possíveis. A chave para a implementação bem sucedida será a selecção de uma boa escala espacial e temporal que, por um lado, deve ser suficientemente detalhada para reflectir os processos hidrológicos em vigor e as actividades de gestão de água mais relevantes. Por outro lado, a escala deve ser suficientemente generalizada para lidar com os dados limitados disponíveis e permitir uma rápida avaliação dos cenários climáticos e de gestão de água a nível (nacional e internacional) das bacias hidrográficas.

Dado o curto tempo e estrutura orçamental disponível, e tomando em consideração a actual situação de dados, o enfoque deve ser o desenvolvimento de um SAD simples e robusto capaz também de gerar resultados com dados de entrada limitadas, em vez do desenvolvimento de uma ferramenta sofisticada que requer informação detalhada e que possa ser operacionalizada por apenas poucos especialistas.

A decisão final sobre a óptima escala e resolução espacial do SAD piloto desenvolvido para o rio Zambeze será tomada durante a fase inicial com base na disponibilidade de dados, avaliação das necessidades do cliente assim como os limites orçamentais e constrangimentos do tempo do projecto.

Parte-se do princípio que todos os dados relevantes para o desenvolvimento do SAD e calibração do modelo serão fornecidos ao consultor gratuitamente e em tempo útil. Isto inclui os seguintes dados:

- Rede hidrográfica digital e outras camadas SIG da fisiografia da bacia
- Informação sobre o funcionamento actual dos principais reservatórios da bacia (regras de operação, curvas de elevação de armazenamento..)
- Séries diárias ou mensais de fluxos observados para todas as estações fluviométricas na parte (moçambicana) mais baixa da bacia e estações fluviométricas seleccionadas na parte de cima (estrangeira) da bacia (> 20 anos)
- Séries diárias ou mensais de precipitação para os indicadores (gauges) seleccionados na bacia (de preferência série de estações meteorológicas sinópticas) (> 20 anos)
- Séries diárias ou mensais de temperatura para as estações seleccionadas na bacia (> 20 anos)
- Informação sobre os grandes consumidores e actuais demandas de águas nas

diferentes subcaptações, reservatórios e pontos de captação de água (dados mensais)

- Cenários Climáticos (dados de precipitação regional e de temperatura) reduzidos e analisados na Fase I (INGC. 2009. Relatório principal: Relatório de Mudanças Climática do INGC: Estudo sobre o Impacto das Alterações Climáticas no Risco de Calamidades em Moçambique, capítulo 1.3)

Se alguma parte dos dados solicitados não pode ser fornecida, fontes alternativas serão exploradas pelo consultor ou uma metodologia simplificada será aplicada para fazer frente ao conjunto de dados limitados.

METODOLOGIA

Estrutura do SAD hídrico

Os elementos do SAD propostos podem ser agrupados em um sistema de gestão de informações (SGI) e em um modelo de bacia hidrográfica (RBM). O SGI, que inclui uma interface gráfica do utilizador baseada na web, uma base de dados de bacia hidrográfica e um componente SIG, é o ambiente que serve o sistema global, apoiado por um conjunto de ferramentas analíticas.

A espinha dorsal do sistema será um modelo de bacia hidrográfica abrangendo toda a captação do Zambeze, com as duas principais componentes sendo um módulo de balanço hídrico e um módulo de distribuição de água.

O sistema irá incluir as seguintes entidades espaciais :

- Áreas de drenagem (áreas)
- Secções fluviais (elementos lineares)
- Reservatórios e pontos de captações de água (elementos nodais)

Estas entidades espaciais serão mapeadas numa base de dados que funciona como uma:

- Base de dados regional para a localização e magnitude de centros de demanda e armazenamento de água existentes e planeados (quem está a usar o quê);
- Base de dados de variáveis climáticas actuais e futuras incluindo pluviosidade, temperaturas e fluxos de todas as áreas de drenagem.

MODELO DE BACIA HIDROGRÁFICA

Módulo de balanço hídrico e de distribuição de água

O escoamento será calculado por um módulo de balanço hídrico que é baseado num método conceptual *soil moisture accounting*. Os dados de entrada do modelo são constituídos pela precipitação e temperatura, os dados de saída pelo escoamento e evapotranspiração reais.

A topologia do rede hidrográfica e a localização e demanda sazonal dos diferentes utilizadores de água e os elementos de armazenamento serão retratados no módulo de distribuição de água.

Resolução espacial e temporal

Afim de permitir o alto desempenho do sistema (exigido para um aplicativo baseada na web) e fácil uso do SAD, fez-se algumas restrições na resolução espacial e temporal.

O número total de áreas de drenagem (subcaptações) a ser considerado não deve exceder 10 na parte a montante da captação (países vizinhos) e será limitado a um máximo de 20 na parte a jusante (Moçambique). O número de secções fluviais e elementos nodais será limitado a um máximo de 30.

Contudo, a concepção e implementação do sistema serão feitas de forma flexível para que uma extensão posterior do sistema para um número maior de entidades espaciais seja possível com um esforço razoável.

Note-se que o número de entidades espaciais depende da disponibilidade de dados. Se houver disponibilidade de apenas informação limitada (por exemplo, sobre escoamento observado, demanda de água, etc.) pode ser necessário mais simplificação e redução de entidades espaciais.

Para a resolução temporal do sistema, serão aplicados prazos mensais, uma vez que é considerado resolução temporal apropriada para a avaliação regional do balanço hídrico e estudos sobre o impacto de mudanças climáticas. Contudo, deverá manter-se certa flexibilidade do sistema para que a sua actualização para uma resolução temporal maior seja possível (semanalmente, diariamente) no futuro com um esforço razoável.

SISTEMA DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES

Definição do cenário

Será desenvolvida uma interface gráfica do utilizador baseado na web que irá possibilitar que o utilizador leve a cabo as seguintes operações:

- definição de cenários de demanda de água;
- selecção e definição de cenários climáticos;
- início da execução de simulação;
- avaliação de resultados (gráfica e numericamente);
- administração de informação de cenário e resultados de simulação (gravação, redacção, etc.)

Cenários de Demanda de Água

Para cada entidade espacial (subcaptação, secção do rio, nó, etc.) a demanda de água pode ser especificada pelo utilizador numa base mensal, tomando em consideração:

- irrigação/demanda agrícola;
- uso doméstico de água; e
- uso industrial de água.

Para os centros de armazenamento (reservatórios), pode-se definir também determinadas regras de operação.

Cenários Climáticos

A base de dados irá armazenar mensalmente as séries temporais de precipitação e temperatura em cada subcaptação para:

- condições climáticas observadas (por exemplo, 1961-1990); e
- cenários climáticos futuros.

O SAD irá permitir a definição de cenários climáticos futuros através das seguintes opções:

- seleção de cenários climáticos pré-definidos;
- carregamento de novos cenários climáticos; e
- abordagem de mudança delta.

Seleção de cenários climáticos pré-definidos

Os futuros cenários climáticos pré-definidos (máximo de 3 cenários) serão carregados na base de dados regionais pelo consultor durante a fase de desenvolvimento, que poderão posteriormente ser seleccionados pelo utilizador para a simulação. Cada cenário climático será caracterizado por três constituintes:

- cenário de emissão do IPCC;
- Modelo Climático Global (MCG); e
- Método de Regionalização ou Modelo Climático Regional (MCR).

Carregamento de novos cenário climáticos

O utilizador será capaz de adicionar novos cenários climáticos através do carregamento mensal de séries temporais de subcaptação de precipitação e subcaptação de temperatura para o sistema. Serão usados os valores médios espaciais, isto é, a distribuição espacial da precipitação dentro de uma subcaptação não será considerada. A distribuição vertical da temperatura será tomada em consideração sob diferentes zonas de elevação derivadas dos modelos digitais de elevação (MDEs). O pré-processamento necessário destes dados (regionalização de dados do MCG, correção de vieses, cálculo dos valores médios para as subcaptações..) deve ser feito com ferramentas externas

Abordagem de mudança delta

Alternativamente, o utilizador pode definir diferentes cenários de mudanças climáticas através da especificação da mudança na temperatura (em °C) e na precipitação (em percentagem) para cada subcaptação e cada mês do ano. Estas mudanças serão posteriormente impostas nas condições climáticas observadas. Os pressupostos sobre as mudanças na precipitação e temperatura podem (1) ser retiradas da literatura (por exemplo, relatórios do IPCC), (2) derivar de análises dos dados do MCG (usando ferramentas externas) ou (3) ser quaisquer valores arbitrários dentro de um campo plausível como é tipicamente aplicável para estudos de sensibilização. Este método permite também uma fácil análise de cenários hipotéticos, como por exemplo, “e se a temperatura aumentar em 3 graus Celsius e a precipitação baixar em 10 por cento?”

Execução de Simulação

Após a definição da demanda de água e cenários climáticos, a execução de simulação pode iniciar. O utilizador será capaz de seleccionar o tempo do início e do fim do período da simulação (por exemplo, 2050 – 2070) para um dado cenário climático. Afim de permitir uma análise estatística dos resultados (e minimizar o efeito de ruído nos dados climáticos), propõe-se uma simulação com duração mínima de 20 anos.

Avaliação dos Resultados (Ferramentas Analíticas)

O aplicativo irá permitir analisar os resultados de uma simulação para um determinado cenário de demanda climática e de água através de meios gráficos e numéricos.

Para cada média de entidade espacial, o escoamento mensal, assim como certos parâmetros estatísticos tais como escoamento mensal mínimo e máximo, podem ser ilustrados e comparados com as condições existentes (caso histórico). Além disso, o SAD irá permitir analisar valores mensais de precipitação e evapotranspiração nas diferentes subcaptações assim como certos índices pré-definidos de falta de água.

ENGINHARIA DO SOFTWARE

Uma base de dados de código aberto e um software SIG como PostgreSQL and PostGIS serão usados em combinação com a linguagem de programação da web PHP, ou tecnologia afim. O uso de tecnologia de código aberto irá eliminar as exigências contínuas de licenciamento de sistemas comerciais similares baseados na web.

Para acolher um aplicativo baseado na web desenvolvido pelo consultor, propõe-se os seguintes servidores de hardware e software, incluídos na oferta financeira:

Hardware: um servidor padrão de marca Dell (Tower, não montados a rack) com Discos Rígidos Raid 1 (500 GB), fonte de alimentação redundante, CPU padrão e 4 GB de memória RAM (UPS para o servidor incluído). Sugere-se um disco rígido externo (Raid 1) para backup.

Software: existe duas opções para o sistema operativo do servidor: (1) o servidor Dell vem com um Windows 2008 R2 com 5 CAL (Client access licenses – licenças de acesso). (2) se se preferir uma versão de fonte, pode-se usar RedHat Linux (pode ser comprada na equipa de manutenção) ou Ubuntu. A proposta financeira é baseada na opção 1.

Para a instalação do servidor, o cliente deve fazer as seguintes preparações:

- Sala que se pode trancar. Temperatura a volta de 20°C.
- Ligação a Internet: requisito mínimo para o servidor web é de 2 MBit em linha simétrica, com preferência de uma linha rápida.
- Especialista locais de TI (cliente), experientes em hardwares e softwares similares, serão responsáveis pelo funcionamento e manutenção do servidor e devem prestar assistência ao consultor durante a implementação do sistema.

O Cliente será responsável pela manutenção do hardware e software para garantir o funcionamento futuro do sistema.

PLANO DE TRABALHO

Dado curto tempo disponível para o desenvolvimento e implementação, deve-se aplicar um plano de trabalho rigoroso para garantir a conclusão bem sucedida da subtarefa. Propõe-se os seguintes marcos:

Workshop inicial (levado a cabo imediatamente após o início do projecto)

Reunião com o cliente com a finalidade de fazer a avaliação das necessidades do cliente e para a investigação da disponibilidade de dados. A concepção preliminar do sistema será discutida com o cliente e poderá se fazer alguns ajustes tendo em conta a situação real.

Recolha de dados (3 meses completos após a data do começo)

A recolha de dados irá depender da facilitação por parte do cliente. Supõe-se que todos os dados necessários para o desenvolvimento do SAD e a calibração do modelo serão recolhidos dentro dos primeiros três meses do período da execução do projecto. Na base de dados recolhidos durante esse período será feita a concepção final do SAD e a base de dados. Não há garantia de que os dados recebidos numa fase posterior do projecto serão reflectidos no SAD. A Fase de Início e de Recolha de Dados será encerrada com a apresentação de um relatório de início 3 meses após a data do começo. The Inception and Data Collection Phase will be closed with submission of an inception report 3 months after commencement date.

Desenvolvimento do protótipo (apresentado 7 meses após a data do início)

Um SAD protótipo para o Zambeze será desenvolvido e um setup preliminar modelo será preparado dentro de 7 meses e apresentado ao cliente. Pequenos ajuste (personalização) da interface gráfica do utilizador e outro componente SAD será feito junto ao cliente.

Entrega do SAD do Zambeze e Formação (apresentado 9 meses após a data do começo)

A versão final do SAD para a captação do Zambeze será entregue depois de 9 meses juntamente com uma sessão de formação em Moçambique. Uma equipa seleccionada de analista (máximo de 8 formandos) será formada no uso e manutenção do sistema, que será entregue ao INGC. O material de formação fornecido pelo consultor irá incluir um manual de utilizador *online* que será entregue juntamente com o sistema SAD.

A interface do utilizador do software assim como o manual do utilizador serão desenvolvidos em Inglês.

Supõe-se que as facilidades de formação necessárias (consistindo em sala de formação, hardware e software com acesso a internet, catering..) serão fornecidas pelo cliente.

RESULTADOS ESPERADOS

Pode-se esperar o seguinte do SC 1:

- Um sistema de apoio à decisão *online* e interactivo para a análise de cenários de desenvolvimento de recursos hídricos actuais e futuros do Rio Zambeze (e potencialmente os Rios Limpompo e Pungué como acréscimos), constituído por um sistema de gestão de informações;
- Uma sessão de formação em Moçambique para uma equipa seleccionada de analistas;
- Um manual de utilizador *online*, que irá permitir também a outros utilizadores aplicarem o SAD baseado na web; e
- Capacidade de homólogos aumentada pela aprendizagem do trabalho

1.2 SUMÁRIO EXECUTIVO

Foi desenvolvido, no SC1, um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) hídrico para toda a bacia do Zambeze, cobrindo 1,4 milhões km². O SAD é uma ferramenta de análise de ponta, bem calibrada e fácil de usar que irá servir aos analistas moçambicanos na rápida avaliação dos impactos das mudanças climáticas e desenvolvimentos a montante (irrigação, barragens) sobre descarga. Devido a sua aplicação como um sistema aberto baseado na Web, o SAD também está disponível para o público em geral. O SAD tem uma interface gráfica do utilizador e combina camadas SIG, mapas de fundo e elementos de modelos que estão ligados a uma base de dados dinâmica e modelos de bacia hidrográfica. O módulo de balanço hídrico do SAD simula o escoamento a partir da precipitação mensal e dados de entrada temperatura em 27 sub-bacias da bacia do Zambeze. O módulo de distribuição de água considera as zonas húmidas, as operações de reservatórios e captações de água e agrega a descarga ao longo da rede hidrográfica em 40 localizações. O utilizador pode de forma interactiva adicionar localizações de interesse e acrescentar ou modificar cenários incluindo as mudanças climáticas, retiradas de água (irrigação), desenvolvimento de barragens e regras de operação de reservatórios. Os dados climáticos contidos no SAD abrangem o período 1950-2005, referentes a observação histórica e 1960-2100, referentes aos dados de três modelos climáticos, permitindo simulações para qualquer época entre 1950 e 2100. O SAD inclui uma ferramenta de análise para a visualização de resultados de simulação como séries temporais, sazonalidade ou distribuição (frequências de alto e baixo caudal). A exportação dos resultados permite o pós-processamento com *software* externo. Os resultados dos exemplos de aplicação do SAD são apresentados, incluindo a avaliação do impacto das mudanças climáticas, irrigação e desenvolvimento de barragem. Os exemplos mostram a alta sensibilidade e a alta complexidade de mudanças regionais na bacia do Zambeze sob vários cenários. Por conseguinte, o SAD irá servir como uma importante ferramenta de análise de cenário para a gestão de recursos hídricos na bacia do Zambeze. O servidor com o sistema SAD instalado ficará localizado no CENOE em Maputo, Moçambique. A estrutura modular do *software* SAD permite futuras extensões para outras bacias hidrográficas, bem como outras funcionalidades. Foram formados nove pessoas de diferentes instituições em Maputo na utilização do SAD.

1.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA

1.3.1 Descrição geral da área – Bacia do Zambeze

A bacia hidrográfica do Zambeze é a quarta maior em África (depois de Congo, Nilo e Níger) e ocupa 1.4 milhões km². Assim como em outros estudos, não consideramos o Rio Okavango como afluente do Zambeze, embora em anos extremamente chuvosos o sistema Okavango teoricamente deságue no Zambeze. A bacia é partilhada por oito países: Zâmbia (41.9 % da área total), Angola (18.2 %), Namíbia (1.1 %), Botsuana (1.5 %), Zimbabué (15.9 %), Tanzânia (2.2 %), Malawi (7.5 %), e Moçambique (11.6 %). Está claro a partir destes números que a parte moçambicana da bacia é pequena, visto que quase 90 % da bacia está localizada nas áreas a montante, de onde surge a maior parte do escoamento. Aqui, a Zâmbia é um país crucial (mais de 40 %). Em algumas regiões, há apenas disponibilidade de informação hidrometeorológica muito limitada (exemplo, Angola com quase 20 %).

A fonte do Rio Zambeze está localizada em Kalene Hill na Zâmbia e percorre aproximadamente 2600 km para o sul e este antes de desaguar no Oceano Índico na costa moçambicana. Ao longo

do seu curso existe famosos tesouros naturais do mundo (exemplo, Cataratas Vitoria) e áreas ecológicas ímpares (exemplo, Mana Pools). Os afluentes importantes são os Rios Kafue, Luangwa e Shire. As planícies aluviais e os pântanos (Planície aluvial de Barotse, Pântanos Chobe, Planícies de Kafue, etc.) são áreas vastas sazonalmente inundadas, com milhares de km². O Lago Malawi está localizado na parte nordeste da bacia e é um dos maiores lagos de água doce do mundo (570 km de comprimento, 30,000 km²). Existe também dois grandes reservatórios artificiais hidroelétricos (barragem de Kariba com 5600 km² e de Cahora Bassa com 2700 km²). Muito mais barragens de energia hidroelétrica encontram-se em fases de planificação.

A pluviosidade média anual é equivalente a cerca de 1000 mm, dos quais cerca de 8 % gera escoamento e os restantes 92% são perdidas por evapotranspiração. As regiões do norte são mais chuvosas do que a parte sul. O escoamento médio na secção de controlo da bacia é de aproximadamente 3600 m³/s, mas o escoamento mostra grandes variações sazonais e intra- anuais. Durante a estação seca não há praticamente nenhuma quantidade significativa de precipitação. O período chuvoso ocorre durante o verão da zona austral por volta de Dezembro a Março. Em Novembro e Abril pode ocorrer algumas quantidades consideráveis de precipitação. A sazonalidade do escoamento é fortemente controlada pela sazonalidade da precipitação, mas, além disso, a retenção do escoamento nas grandes planícies aluviais e pântanos assim como os reservatórios artificiais afecta também o escoamento sazonal.

O SAD é montado para a área de toda a bacia do Zambeze (excluindo Okavango).



- 1.4 Mio km²
- Q ~ 3600 m³/s
- P ~ 1000 mm/y
- Q/P ~ 8 %

Figura 1-1: Bacia do Zambeze

Planície aluvial de Barotse
Evaporação & retenção do escoamento



Lago Malawi
Evaporação & retenção do escoamento



Cataratas Vitória
Grandes atracções turísticas



HPPs de Kariba & Cahora Bassa
Electricidade, evaporação, controlo de inundações



Figura 1-2: Características ímpares da bacia do Zambeze.

1.3.2 Descrição específica – parte moçambicana da bacia

A parte Moçambicana da bacia do Zambeze ocupa 11,6 % da área total. O rio Zambeze entra Moçambique a partir da Zâmbia, logo a montante do reservatório de Cahora Bassa. Na fronteira, o Rio Zambeze já inclui descargas dos principais rios afluentes Kafue e Luangwa.

Existe vários afluentes que desaguam no Rio Zambeze dentro de Moçambique. Alguns quilómetros depois da fronteira Zâmbia/Moçambique, o Rio Panhane percorre do Zimbabwe para a parte superior do reservatório de Cahora Bassa. A jusante do reservatório, o Rio Capoché/Luia junta-se ao Zambeze do lado norte. O Rio Revubue tem a sua confluência com o Rio Zambeze em Tete e drena a área do nordeste da fronteira do Malawi. Mais a jusante, o Rio Luenha vem do ocidente do Zimbabué. O último afluente é o Rio Shire, drenando quase toda a área do Malawi, incluindo o Lago Malawi. A *Tabela 1-1* resume os afluentes moçambicanos e enumera também as respectivas áreas das bacias.

Tabela 1-1: Afluentes do Zambeze em Moçambique.

Bacia hidrográfica	Área [km ²]
Zambeze na fronteira Zâmbia/Moçambique	1004972
Rio Panhane	24404
Rio Capoché/Luia	28699
Rio Revubue	16263
Rio Shire na fronteira Malawi/Moçambique	151537

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Trabalho Preparatório (recolha de dados e informações)

A primeira tarefa para o projecto consistiu numa vasta extensa revisão de literatura para a obtenção de um profundo conhecimento da bacia hidrográfica do Zambeze assim como informações sobre as mais recentes iniciativas de investigação, organização institucional e bases de dados disponíveis. Foram usados os seguintes relatórios e artigos para a revisão de literatura:

RELATÓRIOS

- Arndt C, Strzepeck K, Tarp F, Thurlow J, Fant C, Wright L. 2011. Adapting to climate change: an integrated biophysical and economic assessment for Mozambique. *Sustain. Sci.* 6, 7-20
- Beck L. 2010. Transboundary water allocation in the Zambeze River basin. Dissertation ETH Zurich, 209 pp.
- Beilfuss R, dos Santos D. 2001. Patterns of hydrological change in the Zambeze Delta, Mozambique. Working paper #2, Program for the sustainable management of Cahora Bassa Dam and the Lower Zambeze Valley, 159 pp.
- Beilfuss R. 2001. Prescribed flooding and restoration potential in the Zambeze Delta, Mozambique. Working paper #3, Program for the sustainable management of Cahora Bassa Dam and the Lower Zambeze Valley, 72 pp.
- INGC. 2009. Main report: INGC Climate Change Report: Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique. [Asante, K., Brundrit, G., Epstein, P., Fernandes, A., Marques, M.R., Mavume, A, Metzger, M., Patt, A., Queface, A., Sanchez del Valle, R., Tadross, M., Brito, R. (eds.)]. INGC, Mozambique, 338 pp.
- Mepanda Uncua and Cahora Bassa North Project. Feasibility Study. Republic of Mozambique, Technical Unit for the Implementation of Hydropower Projects (UTIP).
- UN Water. 2009. Mozambique country survey on water sector coordination – Overview assessment and in-depth dialogue. 30 pp.
- World Bank. 2006. Lower Zambeze River Basin: Baseline data on landuse, biodiversity, and hydrology. GEF – Zambeze Valley Market Led Smallholder Development Project, Draft Report November 30, 2006, 62 pp.
- World Bank. 2010. The Zambeze River Basin – A multi-sector investment opportunity analysis. Volume 3: State of the Basin, 202 pp.

ARTIGOS DE INVESTIGAÇÃO

- Beck L, Bernauer T. 2012. How will combined changes in water demand and climate affect water availability in the Zambeze River basin? *Global Environmental Change*, 12 pp
- Gandolfi C, Salewicz KA. 1990. Multiobjective operation of Zambeze River reservoirs. Working paper IIASA, Laxenburg, Austria, 29 pp.
- Gandolfi C, Salewicz KA. 1991. Water resources management in the Zambeze Valley: analysis of the Kariba operation. IAHS Publ. no. 201, Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991
- Harrison GP, Whittington HW. 2002. Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change. *Journal of Hydrology* 264: 230-241
- Harrison GP, Whittington HW, Wallace AR. 2006. Sensitivity of hydropower performance to climate change. *International Journal of Power and Energy Systems* 26(1)

- Hoekstra AY. 2003. Water scarcity in the Zambeze basin in the long-term future: A risk assessment. *Integrated Assessment* 4/3: 185-204
- Kirchhoff CJ, Bilkley JW. 2008. The Zambeze River basin: Potential for collaborative water resource research. *Conference Proceedings Southern Illinois University Carbondale, UCOWR Conference* 22 July 2008, 5 pp.
- Matos JP, Cohen T, Boillat JL, Schleiss AJ, Portela MM. 2010. Analysis of flow regime changes due to operation of large reservoirs on the Zambeze River. *Environmental Hydraulics*: 337-342
- Mazvimavi D. 2010. Investigating changes over time of annual rainfall in Zimbabwe. *HESS* 14: 2671-2679
- Meier P, Frömel A, Kinzelbach W. 2011. Hydrological real-time modelling in the Zambeze River basin using satellite-based soil moisture and rainfall data. *HESS* 15: 999-1008
- Ndebele-Murisa MR, Mashonjowa E, Hill T. 2011. The implications of a changing climate on the Kapenta fish stocks of Lake Kariba, Zimbabwe. *Transactions of the Royal Society of South Africa* 66(2), 105-119
- Scipal K, Scheffler C, Wagner W. 2005. Soil moisture-runoff relation at the catchment scale as observed with coarse resolution microwave remote sensing. *HESS* 9: 173-183
- Shela ON. 2000. Management of shared river basins: the case of the Zambeze River. *Water Policy* 2: 65-81
- Shela ON. 2000. Naturalisation of Lake Malawi levels and Shire river flows. 1st WARFSA/WaterNet Symposium, Maputo 1-2 November 2000, 12 pp
- Tilmant A, Beevers L, Muyunda B. 2010. Restoring a flow regime through the coordinated operation of a multireservoir system: The case of the Zambeze River basin. *Water Resources Research* 46, 11 pp.
- Tilmant A, Kinzelbach W, Beevers L, Juizo D. Optimal Water Allocation in the Zambeze Basin. 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software, Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada, 10 pp.
- Tilmant A, Kinzelbach W, Juizo D, Beevers L, Senn D, Casarotto C. 2011. Economic valuation of benefits and costs associated with the coordinated development and management of the Zambeze river basin. *Water Policy* (in press), 19 pp
- Winsemius HC, Savenije HHG, Gerrits AMJ, Zapreeva EA, Klees R. 2006. Comparison of two model approaches in the Zambeze River basin with regard to model reliability and identifiability. *HESS* 10: 339-352
- Winsemius HC, Savenije HHG, Bastiaanssen WGM. 2008. Constraining model parameters on remotely sensed evaporation: justification for distribution in ungauged basins? *HESS* 12: 1403-1413
- Yamba FD, Walimwipi H, Jain S, Zhou P, Cuamba B, Mzezewa C. 2011. Climate change/variability implications on hydroelectricity generation in the Zambeze River Basin. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 16: 617-628

1.4.2 Consulta de partes interessadas

Uma visita inicial foi feita a Maputo de 2 a 7 de Agosto de 2011, para reunir-se com os clientes e as partes interessadas. Os participantes da visita inicial foram Harald Kling (SC1) e Klaus Leroch (SC3).

Organizou-se 15 reuniões com vários especialistas de várias instituições. Durante estas reuniões foi apresentado o escopo do SAD do Zambeze, aumentando assim a visibilidade do projecto,

uma vez que alguns dos especialistas moçambicanos não estavam inicialmente a par dos esforços em curso. As discussões com os especialistas moçambicanos também deram esclarecimentos importantes aos consultores visitantes (Kling e Leroch) sobre os projectos em curso, as responsabilidades de diferentes instituições (incluindo pessoas de contacto), o conjunto de dados disponíveis, etc.

Durante a reunião com o director do INGC (João Ribeiro) ficou esclarecido que o SAD estará disponível *online* para o público em geral. Contudo, será decidido nas fazes seguintes pelos clientes se só uma versão limitada do SAD será disponibilizada ao público em geral (isto é, acesso restrito à versão completa do SAD).

Várias instituições foram convidadas (INGC, DNA, UEM, Ara-Sul) para a formação em matéria do SAD (Zambeze e possível extensão para Limpopo). Não foi possível organizar nenhuma reunião com o pessoal do Ara-Zambeze (localizado em Tete), porém foi estabelecido um contacto por *e-mail* após a visita inicial.

Obteve-se alguns relatórios e dados interessantes. Ao mesmo tempo, forneceu-se alguns relatórios e dados aos especialistas moçambicanos também. Contudo, não foi possível obter todos os dados existentes (principalmente dos países a montante da bacia do Zambeze). Ainda havia um esforço contínuo na recolha de dados no fim da visita inicial.

Discutiu-se sobre várias possíveis localizações para o servidor do SAD (INGC, UEM, Ara-Sul, fornecedor externo), mas a decisão foi adiada.

A resolução espacial do SAD foi discutida com vários especialistas, mas não houve nenhuma recomendação específica. Portanto, foi enviada uma versão da resolução espacial por *e-mail* à 16 de Agosto de 2011 para mais comentários. Os comentários recebidos são tomados em consideração na decisão final sobre a resolução espacial.

1.4.3 Fontes de Dados

Usou-se dados de muitas fontes diferentes para este estudo. Dado à grande dimensão do estudo (bacia inteira do Zambeze), o enfoque esteve na base de dados global e de acesso gratuito. A disponibilidade desta base de dados facilita em grande medida o processo de aquisição de dados, uma vez que, no caso contrário, os serviços nacionais em oito diferentes países teriam que ser contactados separadamente. As instituições/conjunto de dados a partir dos quais os dados são usados estão descritos a abaixo.

Uma avaliação preliminar superficial da qualidade de dados mostrou que os dados do domínio público parecem ser de qualidade confiável, em quanto que os dados obtidos da base de dados nacional incluem muitas lacunas e em vários casos parecem estar afectados por vieses consideráveis. A título de exemplo, os dados das séries temporais de escoamento registados por diferentes indicadores têm provavelmente muita diferença na qualidade, visto que existe discrepâncias não plausíveis entre os indicadores a montante e a jusante. No geral, todos os dados de séries temporais de escoamento (públicos e nacionais) devem ser usados com cautela, visto que não existe nenhuma informação sobre a credibilidade dos dados por parte dos fornecedores.

Dados da Fase I do INGC

Os dados da primeira fase de estudos do INGC foram acedidos através do Dropbox. Contudo, o conjunto de dados dos estudos da fase I, no geral, só cobre a parte moçambicana da bacia do Zambeze e é, por isso, de uso limitado para o estudo actual, que se concentra na bacia inteira (incluindo áreas a montante maiores).

Dados do domínio público

Os dados de acesso livre do domínio público são consideravelmente usados neste estudo. Estes dados estão tanto disponíveis para baixar directamente da internet ou através do cadastro grátis (e-mail) antes da aquisição. As fontes de dados usadas incluem:

1. Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS): modelo de elevação digital, dados do SIG sobre a cobertura vegetal
2. HydroSheds: Dados do SIG sobre o modelo de elevação digital, direcção do curso de água, rede hidrográfica
3. GRanD: Reservatório dos dados do SIG
4. Satélite AVHRR: dados do SIG sobre a cobertura vegetal
5. Global Runoff Data Center (GRDC): dados de séries temporais de escoamento (em estações)
6. Rede Global Histórica de Climatologia (GHCN): dados de séries temporais sobre precipitação e temperatura (em estações)
7. FAO: dados sobre o Climwat (em estações) a serem usados com o modelo do Cropwat (referência evapotranspiração)
8. Centro Global de Climatologia (GPCC): dados de séries temporais sobre precipitação (campos espaciais)
9. Unidade de Pesquisa Climática (CRU): dados de séries temporais de precipitação, temperatura, evapotranspiração potencial (campos espaciais)
10. ENSEMBLES: cenários de mudança climática para dados de séries temporais sobre precipitação e temperatura (campos espaciais)
11. WATCH: cenários de mudança climática para dados de séries temporais sobre precipitação e temperatura (campos espaciais).

Dados da Base de Dados Nacional

1. Direcção Nacional das Águas (DNA): dados temporais (nas estações) de escoamento, nível de Água (Cahora Bassa)
2. Autoridade do Rio Zambeze (ZRA): dados temporais de escoamento (nas estações)
3. Departamento dos Assuntos Hídricos, Zâmbia (DWA): dados temporais de escoamento (nas estações) quando solicitado, mas não entregues
4. Serviços Hidrológicos Nacionais, Namíbia: dados temporais de escoamento (nas estações) quando solicitado, mas não entregues
5. ZINWA, Zimbabué: dados temporais de escoamento (nas estações) quando solicitado, mas não entregues

Dados dos Relatórios

Alguns relatórios fornecem informações valiosas, ainda que estes dados não estejam disponíveis em formato digital para o projecto actual. Mais especificamente, os relatórios de Beilfuss e dos Santos (2001) assim como Beilfuss (2001) dão informações importantes sobre as características

dos reservatórios e as regras de operação. Além disso, os números mostram o comportamento a longo prazo dos níveis de água no Lago Malawi, por exemplo.

1.5 RESULTADOS DA ANÁLISE DE DADOS

Esta secção dá uma visão geral dos dados obtidos para SC1.

Rede hidrográfica e áreas de drenagem

HydroSheds é um conjunto de dados recentemente desenvolvido e fornece informações globais sobre a topologia dos rios derivada de um modelo digital de elevação (SRTM) com resolução espacial de 3 segundos de arco. Este conjunto de dados é utilizado para (1) a delimitação das áreas de drenagem e as sub-bacias com o SIG e (2) visualização da rede hidrográfica (*Figura 1.3*). A comparação dos dados de HydroSheds com os do Dropbox da Fase I do INGC (área moçambicana apenas) mostrou uma alta concordância entre os conjuntos de dados. Supõe-se que os dados tenham precisão similar nas outras partes da bacia.

Dados do Reservatório

O conjunto de dados GranD é constituído por duas camadas SIG: (1) a localização das grandes barragens e (2) a extensão espacial das massas de água do reservatório (*Figura 1.4*). (1) inclui também as principais características do reservatório, tais como o ano de início do funcionamento e capacidade de armazenamento do reservatório. O conjunto de dados GRanD é usado para a identificação dos principais reservatórios da bacia do Zambeze. Indiscutivelmente, os dois mais importantes reservatórios são o Lago Kariba (185.000 hm³ de capacidade) e Cahora Bassa (63.000 hm³), ambos localizados no Rio Zambeze. Segundo a capacidade de armazenamento, Kariba (localizado entre Zâmbia e Zimbabué) é o maior reservatório artificial do mundo, e Cahora Bassa (localizado em Moçambique) é o 10º maior. Outro grande reservatório, embora muito menor quando comparado com Kariba e Cahora Bassa, é Itezihitezhi (5700 hm³) no Rio Kafue. Outros notáveis reservatórios são Gorge Kafue (785 hm³) e Mita Hills (1500 hm³), ambos localizados na Zâmbia. Existe numerosos reservatórios de pequeno porte no Zimbabué. Quatro deles são maiores que 100 hm³ (o maior é o Manyame com 490 hm³).

Informações adicionais sobre as características dos principais reservatórios da bacia do Zambeze estão disponíveis no relatório de Beilfuss (2001). Estas informações incluem curvas de elevação-volume-área assim como curvas de guia de operação de Kariba, Cahora Bassa, Itezihitezhi e Kafue Gorge.



Figura 1-3: Conjunto de dados HydroSheds.

Painel esquerdo: rede hidrográfica detalhada e direcção do curso na região do reservatório de Cahora Bassa (tabela cinzenta na Figura à direita). Direita: exemplo de dados processados do SIG (rios principais, áreas de drenagem) da bacia inteira.

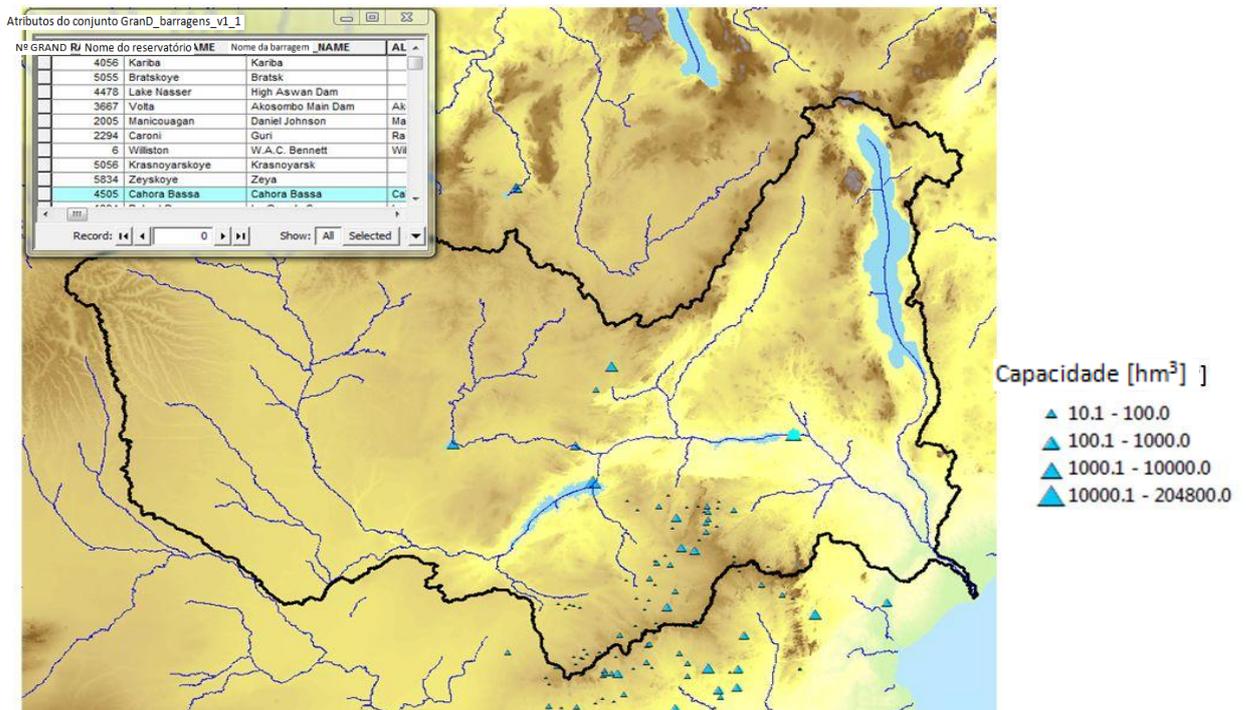


Figura 1-4: Reservatórios do conjunto de dados GRand na região da bacia do Zambeze.

Triângulos: localização de barragens. Tamanho do triângulo: capacidade de armazenamento do reservatório. A barragem de Cahora Bassa está destacada com um ponto azul.

Dados da cobertura vegetal

A Figura 1.5 ilustra o produto satélite de cobertura vegetal AVHRR. Na bacia do Zambeze, a cobertura vegetal dominante é constituída por bosques, prados (arborizados) e zonas agrícolas. Os dados do SIG podem ser agregados para calcular a quota-parte de cobertura vegetal dentro das sub-bacias.

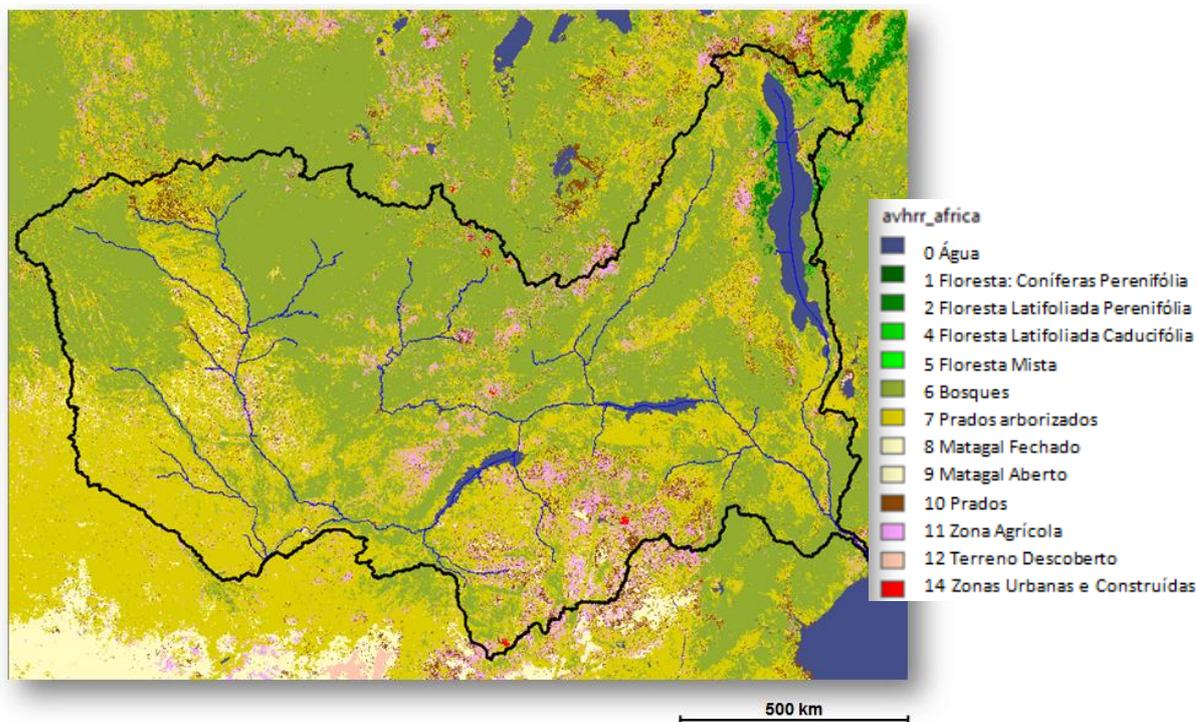


Figura 1-5: Conjunto de dados de cobertura vegetal AVHRR da bacia do Zambeze

Dados de escoamento

Os dados de escoamento foram principalmente obtidos pelo GRDC, DNA e ZRA. O número de séries temporais de escoamento foi 76 do GRDC. Nem todas as séries temporais são úteis para este estudo devido a (1) localização nos afluentes demasiadamente pequena, (2) consideráveis lacunas nos dados, ou (3) aparentes vieses nos dados. Os dados da DNA abrangeram indicadores da parte moçambicana da bacia e os dados indicadores da ZRA abrangeram indicadores da parte superior da bacia. Para o Rio Luangwa os dados forma manualmente dados digitalizados do relatório de Beilfuss (2001). No total, existe 24 secções de controlo de sub-bacias com dados de escoamento disponíveis (Figura 1.6) e apenas três sub-bacias não possuem indicadores. Esta é uma base de dados suficiente para a calibração do SAD. Os dados de escoamento observados não são necessários para a simulação com o SAD, visto que o escoamento é uma variável simulada do modelo de bacia hidrográfica. A Figura 1.7 mostra os exemplos de hidrogramas observados na parte superior da bacia do Zambeze. Todas as séries temporais apresentam forte sazonalidade no escoamento (ver, por exemplo, Figura 1.8).

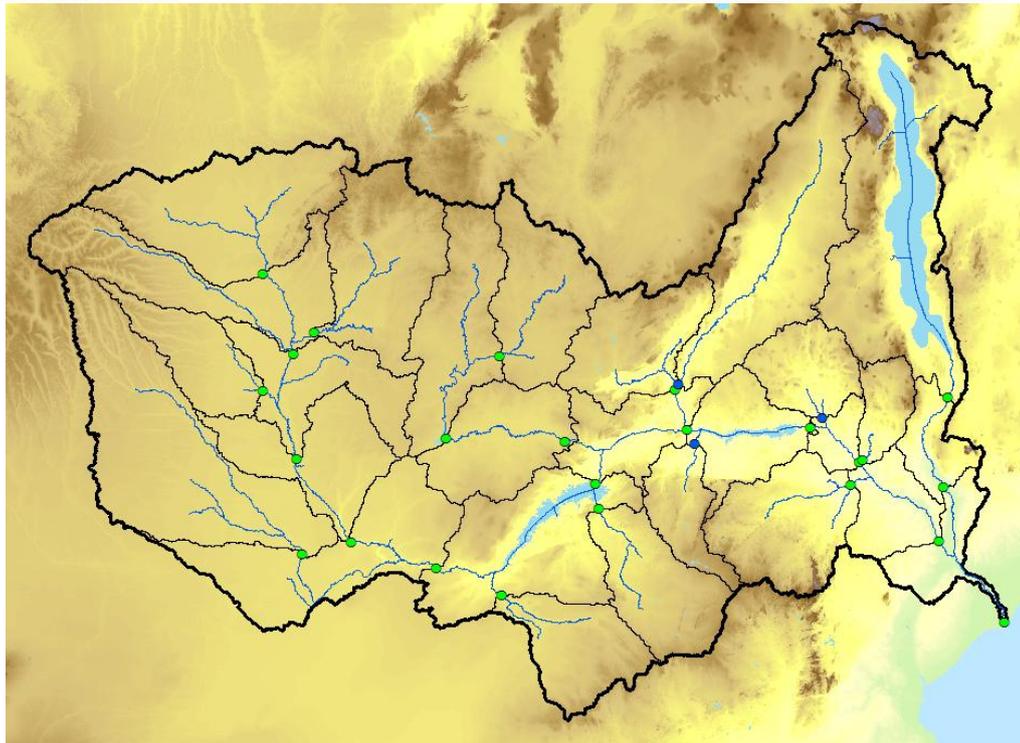


Figura 1-6: Localização de indicadores usados na bacia do Zambeze.
Verde: dados de escoamento disponíveis. Azul: localização sem indicadores.

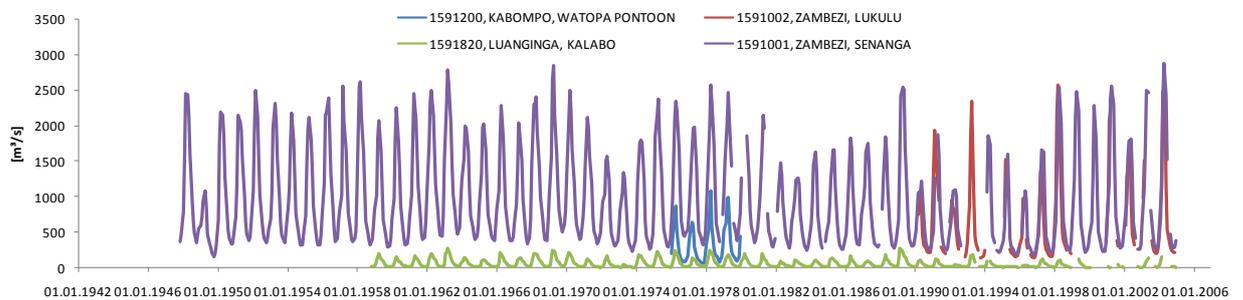


Figura 1-7: Exemplo de hidrogramas mensais observados pelo GRDC referentes ao período de 1942 a 2009

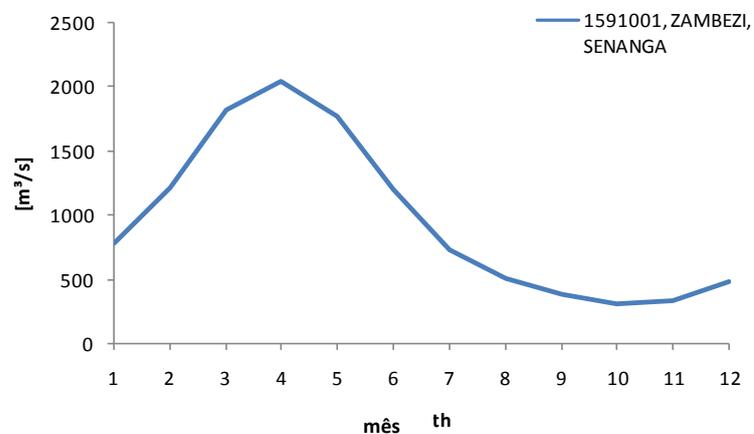


Figura 1-8: Escoamento médio mensal observado da bacia do Rio Zambeze no Senanga referente ao período 1948-2004. Dados do GRDC

Dados de Precipitação

Os dados do GPCC referentes a precipitação são usados para a simulação histórica com o SAD. Outros conjuntos de dados de precipitação (CRU, GHCN) são usados para efeitos de comparação apenas. O conjunto de dados do GPCC é constituído por precipitação mensal global em grelha para o período de 1901 a 2009, dados interpolados dos dados da estação. A resolução espacial é de 0,5 x 0,5 graus.

A *Figura 1.9* mostra o número de estações disponíveis para a interpolação de precipitação do GPCC, agregadas para toda a bacia do Zambeze. O período compreendido entre 1960 e 1990 apresenta a maior disponibilidade de dados de estações, com aproximadamente 200 estações. O pico 1980 a 1990 é causado por inúmeras estações disponíveis no Malawi. A densidade de estação é menor nas regiões ocidentais da bacia (*Figura 1.10*). O GPCC usou mais estações para interpolação do que a CRU. Não obstante, a distribuição espacial da precipitação média anual na África austral é bastante semelhante entre os dados do GPCC e os da CRU (*Figura 1.11*).

As *Figura 1.12 a 1.14* mostram a análise dos dados do GPCC para a bacia do Zambeze. A precipitação é basicamente nula nos meses de Junho a Setembro, mas atinge totais mensais de aproximadamente 200 mm durante a estação chuvosa (*Figura 1.12*). Existe tendências distintas de precipitação a longo prazo (*Figura 1.13 a 1.14*). A precipitação acima da média ocorreu de 1950 a 1980 (média de 969 mm/ano), considerando que os períodos de 1901 a 1915 e 1981 a 1995 foram mais secos (média de 867 mm/ano). Para além dos anos especificados, os restantes períodos estiveram perto de condições médias.

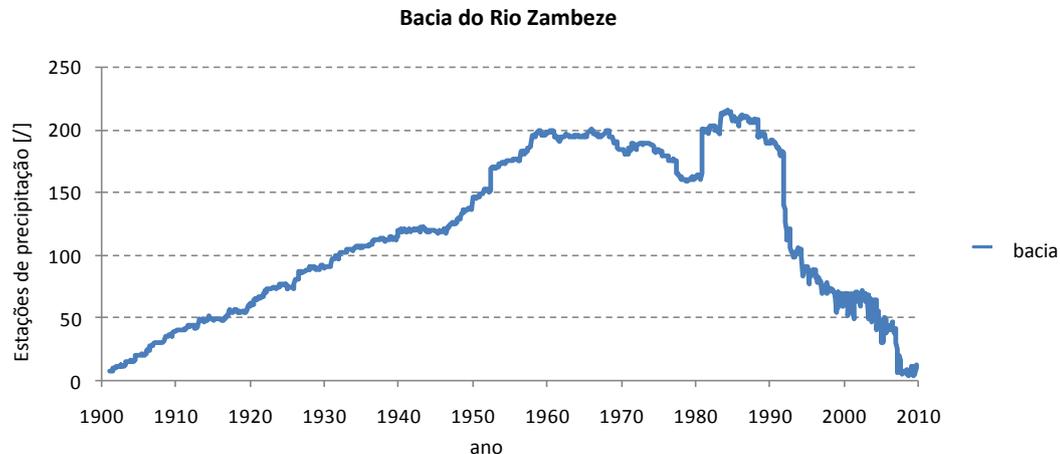


Figura 1-9: Disponibilidade de dados de estações do GPCC na bacia do Zambeze. Número de estações usadas para a interpolação da precipitação

Dados do GPCC sobre Estações 1961 - 1990

Dados do CRU sobre precipitações 1961 - 1990

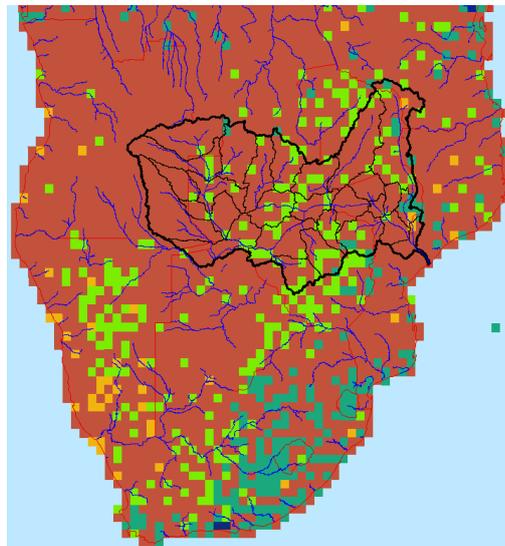
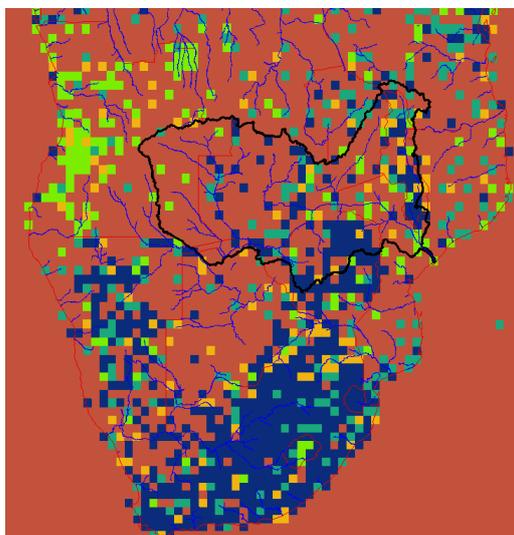


Figure de tempo
Com pelo
menos
Uma estação
disponível

- 0.00
- 0.01 - 0.33
- 0.34 - 0.66
- 0.67 - 0.99
- 1.00

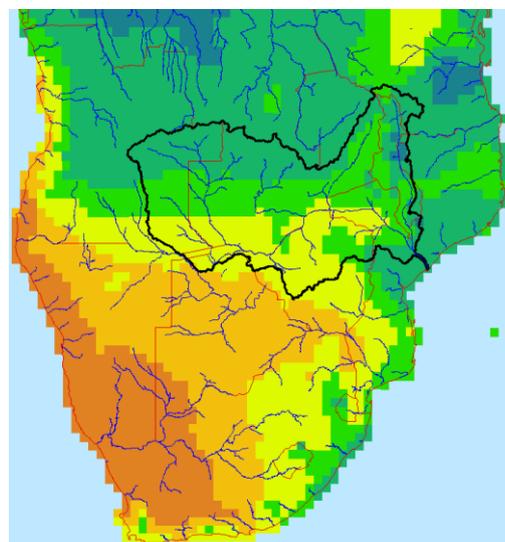
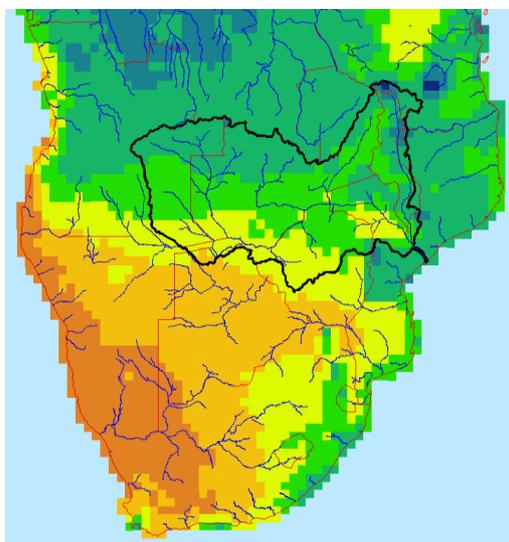
Figura 1-10: Disponibilidade de dados de estações para produtos de precipitação global em grelha no período 1961-1990.

À esquerda: dados do GPCC. À direita: dados CRU

Precipitação média anual de 1961 - 1990

GPCC

CRU



Precip [mm/y]

- 0.1 - 250.0
- 250.1 - 500.0
- 500.1 - 750.0
- 750.1 - 1000.0
- 1000.1 - 1500.0
- 1500.1 - 2000.0
- 2000.1 - 2511.7

Figura 1-11: Comparação da precipitação média anual para o período 1961-1990.

À esquerda: dados do GPCC. Direita: dados da CRU

Bacia do Rio Zambeze

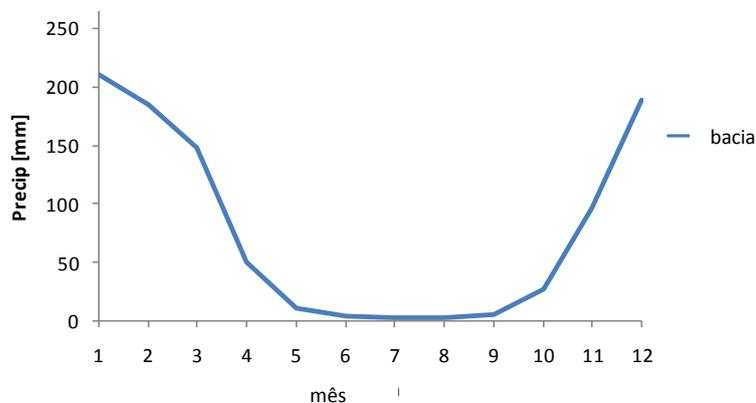


Figura 1-12: Precipitação média mensal da bacia do Zambeze referente ao período 1961-1990.
Dados do GPCC

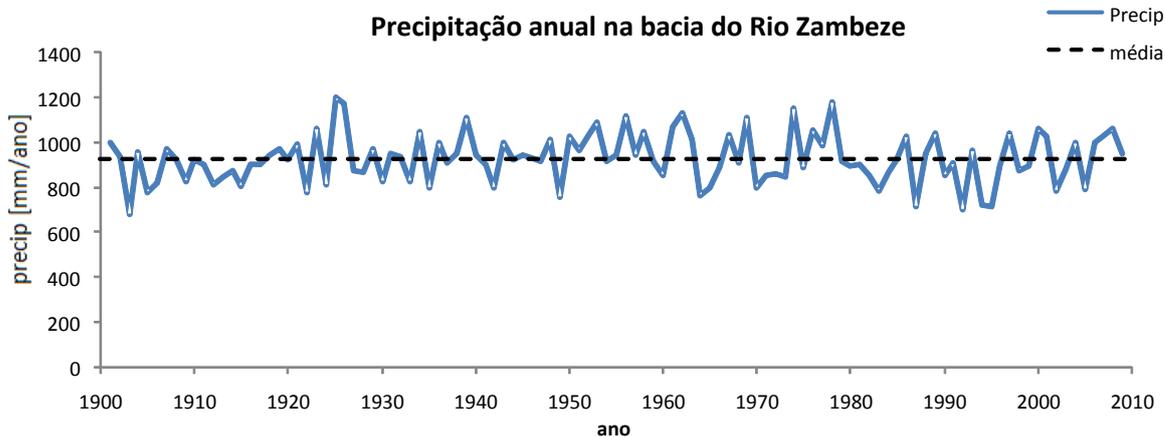


Figura 1-13: Precipitação anual na bacia do Zambeze de 1901-2009.
Dados do GPCC.

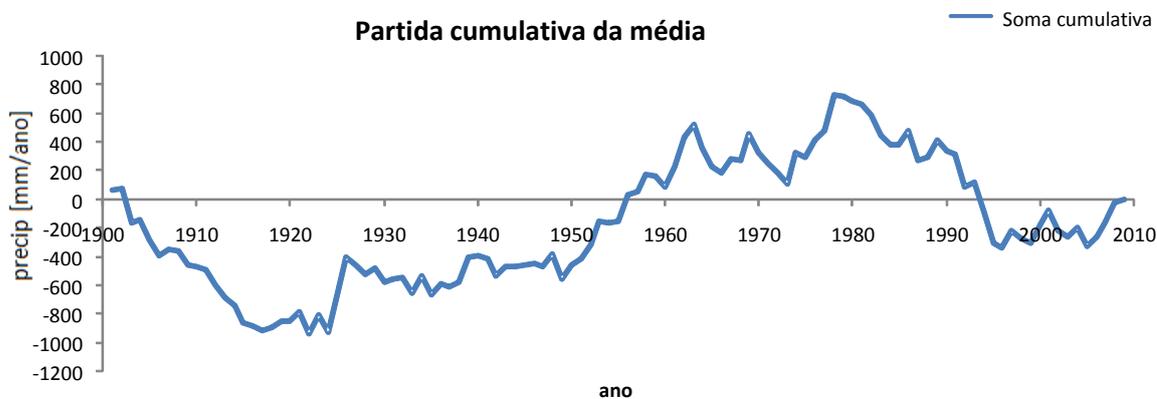


Figura 1-14: Tendências de precipitação a longo prazo na bacia do Zambeze de 1901-2009.
Dados do GPCC. Calculadas como diferença cumulativa entre a precipitação anual e a precipitação média anual a longo prazo.
Inclinação positiva: períodos chuvosos. Inclinação negativa: períodos secos.

Dados de Temperatura

Os dados da CRU referentes a temperatura são usados para a simulação histórica com o SAD. Os outros conjuntos de dados de temperatura (RDGH, CLIMWAT) são usados para efeitos de comparação apenas. O conjunto de dados de CRU é constituído por temperatura mensal global em grelha para o período 1901 a 2009, dados interpolados da estação. A resolução espacial é de 0,5 x 0,5 graus.

A *Figura 1.15* mostra o número de estações disponíveis para a interpolação de temperatura da CRU, agregadas para toda bacia do Zambeze. O período compreendido entre 1960 a 2000 tem a maior disponibilidade de dados de estação. No entanto, o número máximo de sete estações é muito baixo. Note-se que as estações situadas fora da bacia também têm um impacto sobre a interpolação de temperatura dos dados da CRU. Visto que a interpolação da temperatura é menos problemática do que, por exemplo, da precipitação, sete estações são ainda suficientes. As estações com dados disponíveis para a interpolação da temperatura da CRU estão distribuídas de forma proporcional na bacia do Zambeze (*Figura 1.16*).

A análise de dados da CRU referentes a temperatura da bacia do Zambeze é apresentada nas *Figura 1.17* a *1.20*. A temperatura é mais quente em Outubro e Novembro com 25 °C, e no inverno mais fria em Junho e Julho com 17 °C (*Figura 1.18*). Existe tendências distintas de temperatura a longo prazo (*Figura 1.19* e *Figura 1.20*). De 1901 a 1980, as temperaturas mantiveram-se relativamente estáveis. Após 1980 houve uma considerável subida na temperatura. Esta subida corresponde ao aquecimento que ocorre a nível mundial. Em média, o período 2000-2009 foi mais quente em 1,5 °C do que o período de 1901 a 1980.

A *Tabela 1-2* resume a temperatura média mensal do ar das sub-bacias baseado em dados da CRU. Um mapa de distribuição espacial de temperatura média anual do ar é apresentado na *Figura 1.17*.

Tabela 1-2: Temperatura média mensal do ar (°C) das sub-bacias do SAD. Dados da CRU. Período 1971-2000

sb	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	22.9	22.9	23.0	22.5	20.9	18.7	18.6	21.2	23.7	24.3	23.5	23.0
2	22.5	22.7	22.8	21.8	19.7	17.3	17.2	19.9	23.1	24.3	23.6	22.9
3	23.0	23.1	23.3	22.6	20.7	18.3	17.8	20.5	23.7	24.5	23.7	23.1
4	23.8	23.9	24.2	23.3	21.4	18.9	18.0	20.8	23.9	25.2	24.6	24.0
5	24.1	24.2	24.2	23.0	20.7	18.2	17.8	20.8	24.5	26.0	25.4	24.4
6	24.6	24.6	24.5	23.1	20.6	17.8	17.4	20.5	24.3	26.3	25.8	24.9
7	24.0	24.0	23.9	22.8	20.3	17.6	16.7	19.9	23.0	25.5	24.8	24.3
8	25.3	25.1	24.8	23.0	20.0	17.0	16.6	19.7	23.9	26.4	26.4	25.5
9	23.3	23.0	22.6	20.7	18.0	15.3	15.0	17.6	21.5	23.8	24.1	23.4
10	23.3	23.0	22.6	21.0	18.4	15.7	15.5	17.9	21.7	23.9	24.2	23.4
11	24.9	24.8	24.5	23.0	20.4	17.4	17.4	20.1	24.0	26.7	26.8	25.3
12	22.6	22.7	22.6	21.2	18.8	16.6	16.1	18.8	22.4	24.2	24.1	22.8
13	22.9	23.0	22.9	21.6	19.2	16.7	16.4	19.2	22.9	24.6	24.3	23.2
14	23.5	23.5	23.2	21.7	19.0	16.6	16.2	19.0	23.0	25.2	25.2	23.8
15	22.8	22.8	22.9	21.9	20.0	18.0	17.5	19.4	22.6	24.5	24.9	23.5
16	22.8	22.9	22.8	21.5	19.4	17.4	16.8	19.2	22.8	24.6	24.7	23.1
17	24.7	24.6	24.5	23.1	20.7	18.4	18.0	20.5	24.4	26.7	26.8	25.1
18	22.9	22.8	22.4	20.8	18.4	16.0	15.7	17.9	21.6	23.8	24.2	23.2
19	25.8	25.9	25.6	24.2	22.2	19.8	19.5	21.4	24.8	27.4	27.7	26.5
20	24.2	24.2	24.2	23.0	21.3	19.1	18.9	20.5	23.7	25.5	26.0	24.9
21	27.2	27.0	27.0	25.6	23.6	21.3	21.1	22.5	25.7	27.9	28.7	28.0
22	23.8	23.6	23.6	22.4	20.6	18.6	18.1	19.7	22.6	24.3	25.2	24.5
23	23.7	23.6	23.2	21.5	19.3	16.9	16.6	18.2	21.3	23.8	24.5	24.0
24	27.2	26.9	26.8	25.4	23.3	21.1	20.7	22.1	24.9	26.9	28.1	27.7
25	22.9	22.8	22.8	21.9	20.2	18.2	17.7	19.0	21.5	23.5	24.4	23.7
26	25.1	24.8	24.6	23.3	21.4	19.5	18.9	20.7	23.4	25.2	26.2	25.5
27	27.2	26.9	26.6	25.0	22.9	20.8	20.2	21.4	23.8	25.7	27.0	27.2

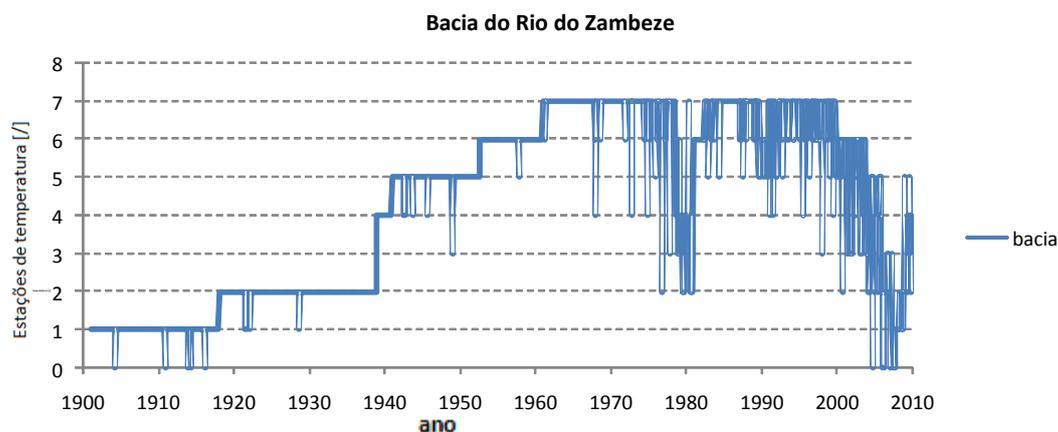


Figura 1-15: Disponibilidade de dados de estações referentes aos dados da temperatura da CRU no período 1901-2009.

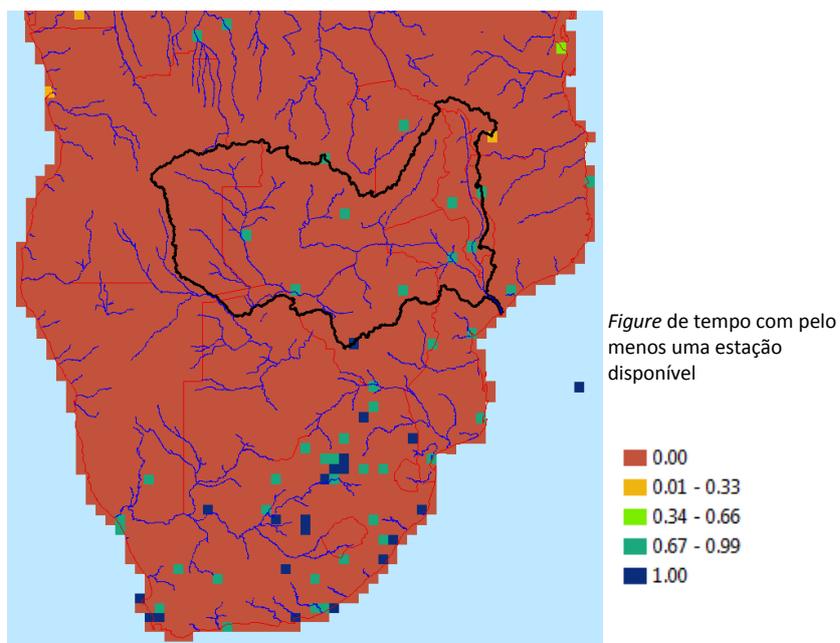


Figura 1-16: Disponibilidade de dados de estações referentes aos dados de temperatura da CRU no período 1961-1990

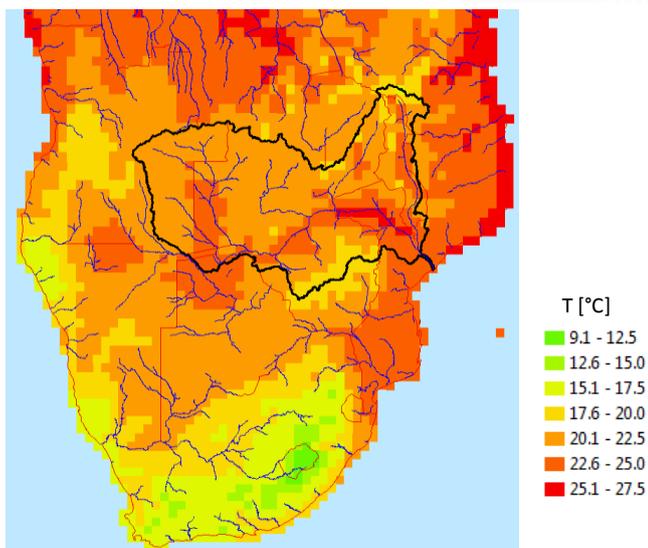


Figura 1-17: Temperatura média anual para 1961-1990. Dados da CRU.

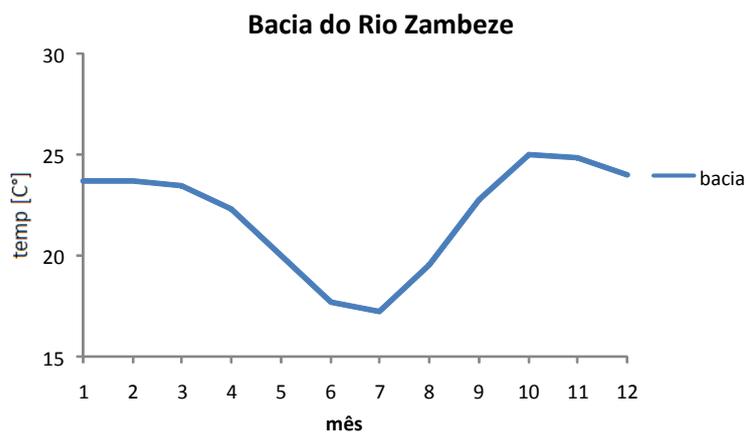


Figura 1-18: Mean monthly temperature in the Zambezi basin for the period 1961-1990. CRU data.

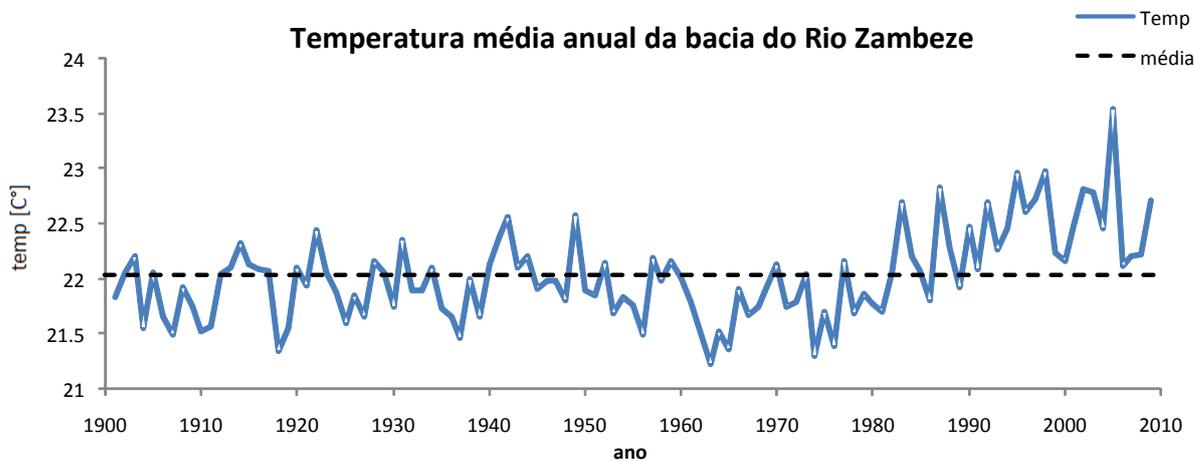


Figura 1-19: Temperatura anual da bacia do Zambeze no período 1901-2009 com base nos dados da CRU.

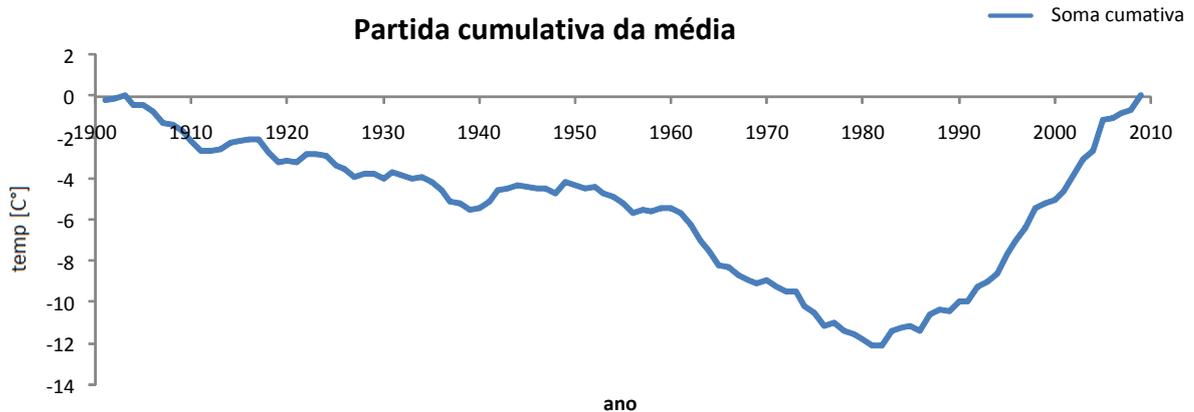


Figura 1-20: Tendências a longo prazo da temperatura anual da bacia do Zambeze no período 1901-2009 com base nos dados da CRU.

O gráfico mostra a diferença cumulativa entre a temperatura anual e a temperatura média anual a longo prazo: período de alerta (subida da temperatura). Inclinação negativa: períodos de arrefecimento (queda da temperatura).

Evapotranspiração Potencial

Diferentes conjuntos de dados são usados para a obtenção de informações sobre evapotranspiração potencial: dados da CRU, dados do CLIMWAT e o modelo CROPWAT.

A evapotranspiração potencial da CRU é um produto derivado de outros conjuntos de dados da CRU (temperatura, humidade relativa, etc.). Note-se que o conjunto de dados da CRU tem como base algumas poucas estações para a humidade relativa na região. Por conseguinte, os dados da CRU sobre evapotranspiração potencial devem ser interpretados com cuidado devido a possibilidade de grandes incertezas. Os dados encontram-se na mesma resolução que o conjunto de dados de temperatura da CRU (Figura 1.21) e abrangem o período 1901 – 2009. A evapotranspiração potencial é mais elevada em Setembro e Outubro com quantidades mensais de 150 mm, e é mais baixa de Dezembro a Julho com quantidades mensais de 100 mm (Figura 1.22). A evapotranspiração potencial média anual atinge 1340 mm. Contudo, existe tendências distintas ao longo do século 20, uma vez que é mais provável que as séries temporais sejam afectadas pelo fenómeno de escurecimento global (desde 1950) e clareamento assim como pelo aumento da temperatura desde 1980 (Figura 1.23 e 1.24). De 1950 a 1980 registou-se valores abaixo da média (1319 mm) e de 1981 a 2009, registou-se valores acima da média (1358 mm). A relação entre valores anuais de evapotranspiração potencial e temperatura mostra uma correlação positiva (Figura 1.25). No entanto, esta relação também é influenciada pela variação da radiação global, em que se faz uma relação cruzada com a temperatura. Por conseguinte, a relação da Figura 1.25 não pode ser extrapolada para cenários futuros de aquecimento.

A FAO oferece o conjunto de dados de estações CLIMWAT para usar com o modelo CROPWAT. O CLIMWAT fornece informações sobre evapotranspiração potencial calculada pelo método de Penman-Monteith. No entanto, a evapotranspiração potencial novamente calculada com o mesmo método, usando o modelo CROPWAT, produz resultados ligeiramente diferentes devido a diferentes pressupostos do modelo para o método de Penman-Monteith. A Figura 1.26 mostra as estações usadas para a obtenção de informações sobre evapotranspiração potencial na região da bacia do Zambeze. O número de estações é muito maior do que o do conjunto de dados da CRU (comparar com a Figura 1.16). Os dados do CLIMWAT representam os valores médios mensais a longo prazo do período 1971-2000 são constituídos pela temperatura mínima,

temperatura máxima, humidade relativa, velocidade do vento e duração do sol (*Figura 1.27*) para serem usados com CROPWAT. Os dados derivados do CROPWAT são a radiação global (que depende também da localização) e evapotranspiração potencial (referência à evapotranspiração de ervas curtas). O CROPWAT pode ser usado para calcular o efeito de uma subida de temperatura na evapotranspiração potencial, assumindo que todas as outras variáveis se mantêm constantes. Verificou-se que o aquecimento em 1 °C resulta na subida de evapotranspiração potencial em 2,5 %. Esta relação é obtida em todas as estações na bacia do Zambeze, com apenas pequenas variações. Os testes mostraram que esse grau de subida de evapotranspiração potencial também pode ser escalado para graus maiores de aquecimento. Esta relação é usada pelo SAD para calcular séries temporais de evapotranspiração potencial a partir de dados históricos e projectados (mudanças climáticas) da temperatura.

Como referência, a evapotranspiração potencial histórica de cada sub-bacia é estimada a partir de um grande número de estações do CLIMWAT. As estações do CLIMWAT foram agrupadas dentro das regiões (*Figura 1.28*) e graficamente representadas versus a elevação (*Figura 1.29*) para a obtenção de uma estimativa da evapotranspiração potencial na elevação de cada sub-bacia. Embora as estações do CLIMWAT mostrem, individualmente, algumas grandes variações, as tendências gerais dos dados são plausíveis. A *Tabela 1-3* resume a evapotranspiração potencial média como foi usada pelo SAD para a referência histórica. Juntamente com as estimativas da temperatura média do ar da CRU (*Tabela 1-2*), a evapotranspiração potencial de passos temporais individuais é calculada pela seguinte equação:

$$PET = mPET \cdot (\Delta T \cdot F + 1)$$

onde,

PET é a evapotranspiração potencial em [mm/d]

mPET é evapotranspiração potencial média durante o período de referência (*Tabela 1-3*) em [mm/d]

ΔT é a diferença de temperatura entre o actual passo temporal e o período de referência (*Tabela 1.3*) em [°C].

F é um factor especificado como as 0.025 [mm/(mm.°C)], isto é, *PET* sobe em 2.5% com +1°C

Tabela 1-3: Estimativas de evapotranspiração potencial nas sub-bacias do SAD.

Valores anuais estão em unidades de [mm/ano] e valores mensais, em unidades de [mm/d]. Período 1971-2000

Sub-Bacia	mm/y ano	mm/d Jan	mm/d Fev	mm/d Mar	mm/d Abr	mm/d Mai	mm/d Jun	mm/d Jul	mm/d Ago	mm/d Set	mm/d Out	mm/d Nov	mm/d Dez
1	1600	3.82	3.75	3.80	4.08	4.08	3.84	4.16	5.08	6.08	5.73	4.36	3.80
2	1550	3.70	3.63	3.68	3.95	3.95	3.72	4.03	4.92	5.89	5.55	4.22	3.68
3	1550	3.70	3.63	3.68	3.95	3.95	3.72	4.03	4.92	5.89	5.55	4.22	3.68
4	1650	3.93	3.87	3.92	4.21	4.21	3.96	4.29	5.23	6.27	5.90	4.49	3.92
5	1700	4.05	3.98	4.04	4.34	4.34	4.08	4.42	5.39	6.46	6.08	4.63	4.03
6	1700	4.34	4.25	4.34	4.32	3.96	3.54	3.82	4.87	6.17	6.34	5.27	4.62
7	1600	4.09	4.00	4.09	4.07	3.73	3.33	3.59	4.59	5.81	5.97	4.96	4.35
8	1750	4.47	4.37	4.47	4.45	4.08	3.64	3.93	5.02	6.35	6.53	5.43	4.76
9	1650	4.26	4.07	4.33	4.15	3.71	3.27	3.46	4.49	5.91	6.63	5.39	4.54
10	1650	4.26	4.07	4.33	4.15	3.71	3.27	3.46	4.49	5.91	6.63	5.39	4.54
11	1700	4.39	4.19	4.46	4.28	3.83	3.36	3.56	4.63	6.09	6.83	5.56	4.68
12	1600	3.83	3.72	3.99	4.09	3.88	3.56	3.79	4.76	6.00	6.22	4.74	3.99
13	1600	3.83	3.72	3.99	4.09	3.88	3.56	3.79	4.76	6.00	6.22	4.74	3.99
14	1750	4.19	4.06	4.36	4.48	4.24	3.90	4.14	5.20	6.56	6.80	5.18	4.37
15	1750	4.06	3.93	4.18	4.29	4.10	3.78	3.98	5.00	6.48	7.20	5.93	4.57
16	1700	3.94	3.82	4.06	4.17	3.99	3.68	3.86	4.86	6.29	7.00	5.76	4.44
17	1700	4.39	4.19	4.46	4.28	3.83	3.36	3.56	4.63	6.09	6.83	5.56	4.68
18	1650	4.26	4.07	4.33	4.15	3.71	3.27	3.46	4.49	5.91	6.63	5.39	4.54
19	1500	3.99	3.92	3.96	3.76	3.30	2.84	3.01	3.84	5.03	5.88	5.20	4.56
20	1450	3.85	3.79	3.83	3.63	3.19	2.75	2.91	3.71	4.87	5.68	5.03	4.41
21	1500	3.99	3.92	3.96	3.76	3.30	2.84	3.01	3.84	5.03	5.88	5.20	4.56
22	1450	3.85	3.79	3.83	3.63	3.19	2.75	2.91	3.71	4.87	5.68	5.03	4.41
23	1450	3.85	3.79	3.83	3.63	3.19	2.75	2.91	3.71	4.87	5.68	5.03	4.41
24	1600	4.69	4.47	4.32	3.98	3.47	2.97	3.07	3.94	4.89	5.94	5.77	5.05
25	1600	3.71	3.71	3.71	3.88	3.88	3.77	3.82	4.48	5.49	6.27	5.66	4.19
26	1500	4.40	4.19	4.05	3.73	3.26	2.79	2.88	3.70	4.59	5.57	5.41	4.73
27	1600	4.69	4.47	4.32	3.98	3.47	2.97	3.07	3.94	4.89	5.94	5.77	5.05

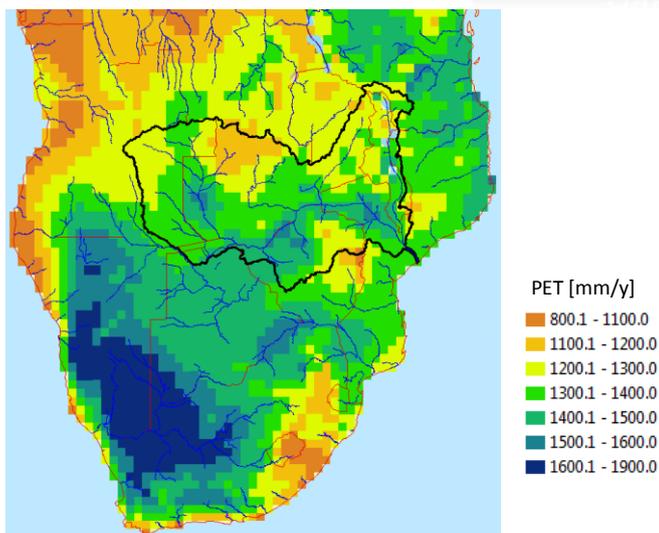


Figura 1-21: Evapotranspiração potencial média anual referente a 1961-1990. Dados da CRU.

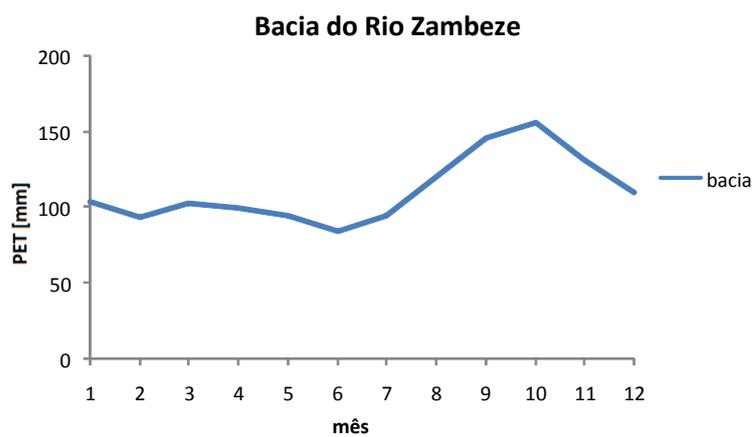


Figura 1-22: Evapotranspiração média mensal da bacia do Zambeze referente a 1961-1990. Dados da CRU

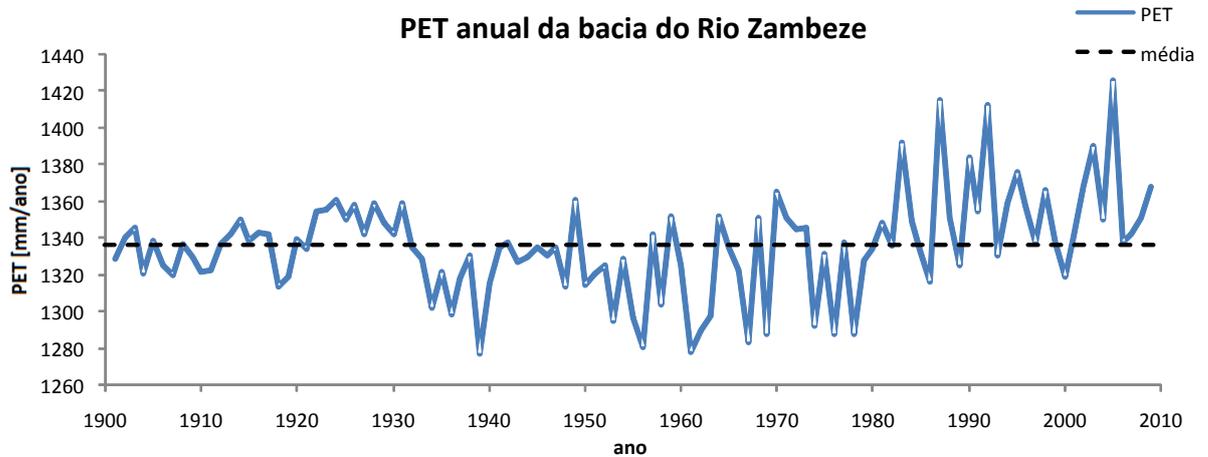


Figura 1-23: *Evapotranspiração potencial anual da bacia do Zambeze referente a 1901-2009 com base nos dados da CRU*

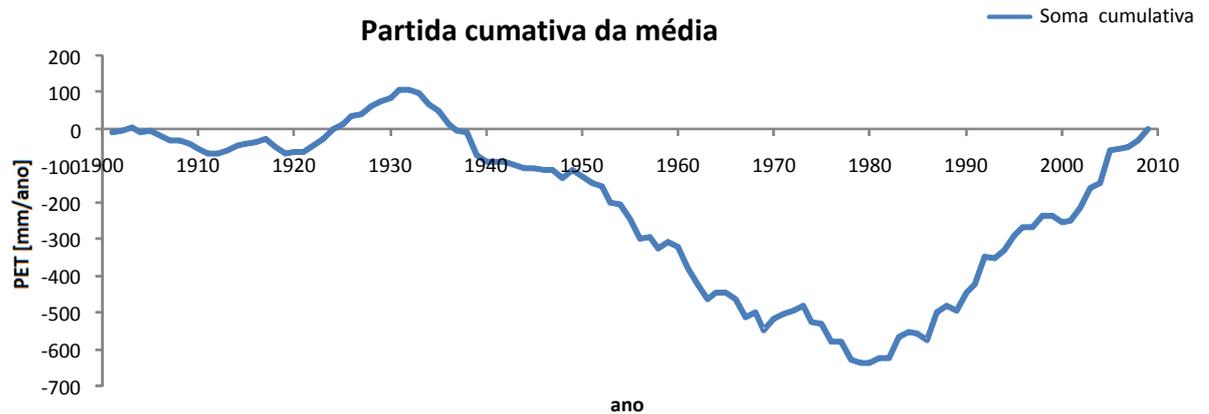


Figura 1-24: *Tendências a longo prazo de evapotranspiração potencial anual na bacia do Zambeze referentes a 1901-2009.*

Dados da CRU. Calculados como diferença cumulativa entre valores anuais e valores médios anuais a longo prazo. Inclinação positiva: períodos com evapotranspiração acima da média. Inclinação negativa: períodos com evapotranspiração abaixo da média.

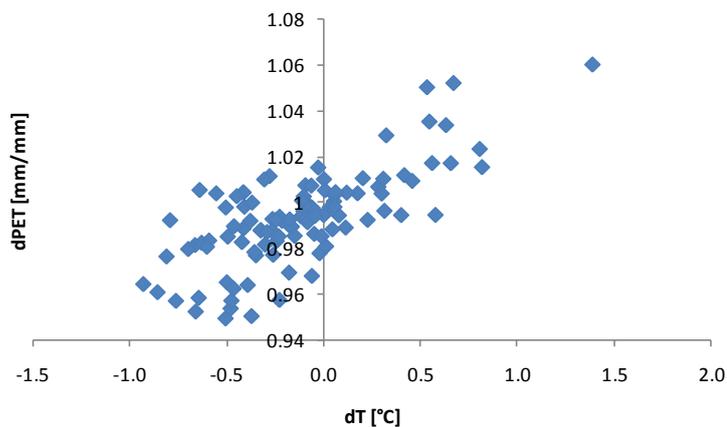
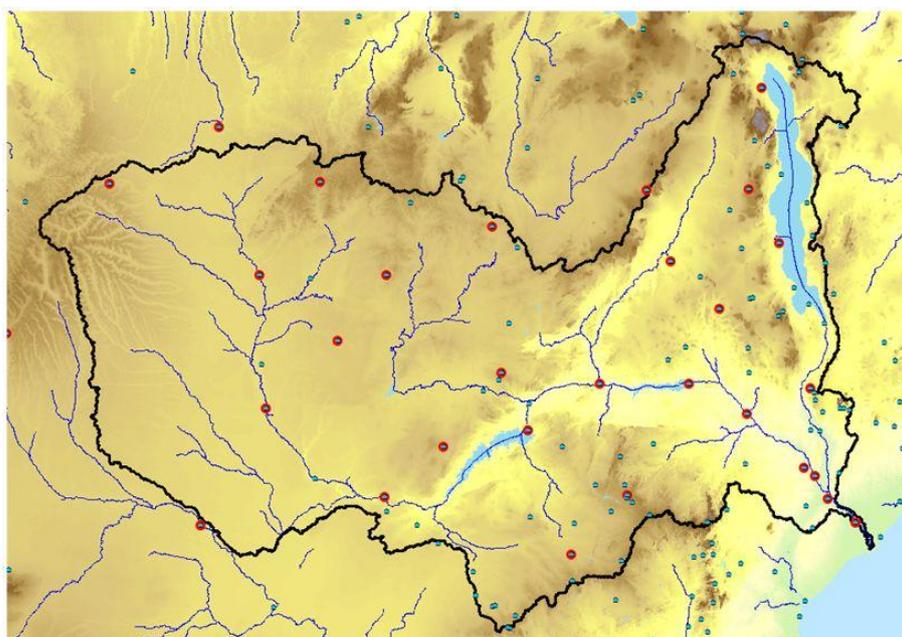


Figura 1-25: Relação entre anomalias anuais de evapotranspiração potencial e temperatura na bacia do Zambeze.

Dados da CRU. Período 1901-2009. dT: anomalias da temperatura calculadas como diferença entre valor anual e valor médio anual a longo prazo. dPET: anomalia evapotranspiração potencial calculada como razão entre valor anual e valor médio anual a longo prazo.



Estação do CLIMWAT
Estação do CLIMWAT usado com o modelo CROPWAT

Figura 1-26: Localização de estações do CLIMWAT disponíveis e selecção de estações usadas com o modelo CROPWAT

Mês	Temp mín °C	Temp máx °C	Humidade %	Vento k _h horas ₁	Sol ₁ MJ/m ² /dia	Rad mm/dia ₁	ET _o mm/day
Janeiro	23.3	33.0	74	95	6.5	20.6	4.71
Fevereiro	23.3	33.6	75	78	6.8	20.8	4.69
Março	22.5	32.8	70	112	7.4	20.5	4.71
Abril	21.3	32.5	65	121	7.6	18.8	4.40
Maiço	18.1	30.9	63	95	7.8	17.0	3.63
Junho	15.2	28.4	62	95	6.2	13.9	2.94
Julho	15.1	28.1	61	121	7.2	15.5	3.25
Agosto	17.1	30.6	55	156	8.1	18.5	4.35
Setembro	20.1	33.3	48	207	8.3	21.0	5.85
Outubro	23.0	36.4	45	225	8.7	23.3	7.12
Novembro	23.9	36.0	53	190	7.9	22.6	6.51
Dezembro	23.6	34.2	62	121	6.9	21.3	5.34
Média	20.5	32.5	61	135	7.5	19.5	4.79

Figura 1-27: Modelo CROPWAT para o cálculo de evapotranspiração potencial através do método Penman-Monteith com dados do CLIMWAT. Exemplo da estação de Tete em Moçambique

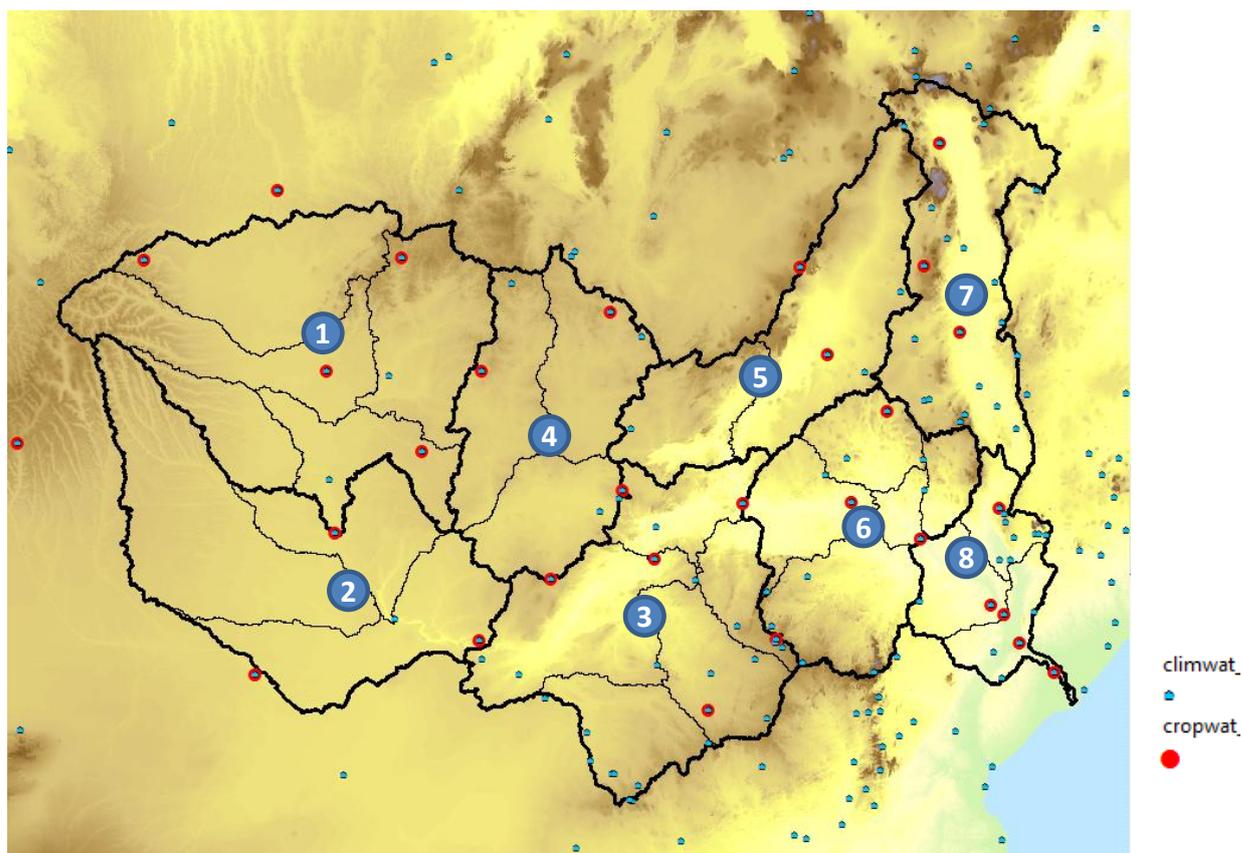


Figura 1-28: Visão geral da localização espacial dos dados de evapotranspiração potencial. Círculos azuis pequenos: estações do CLIMWAT. Círculos vermelhos grandes: Cálculos do CROPWAT. Linhas pretas a negrito e números nos círculos azuis: agrupamento de sub-bacias em regiões para uma análise separada de evapotranspiração potencial

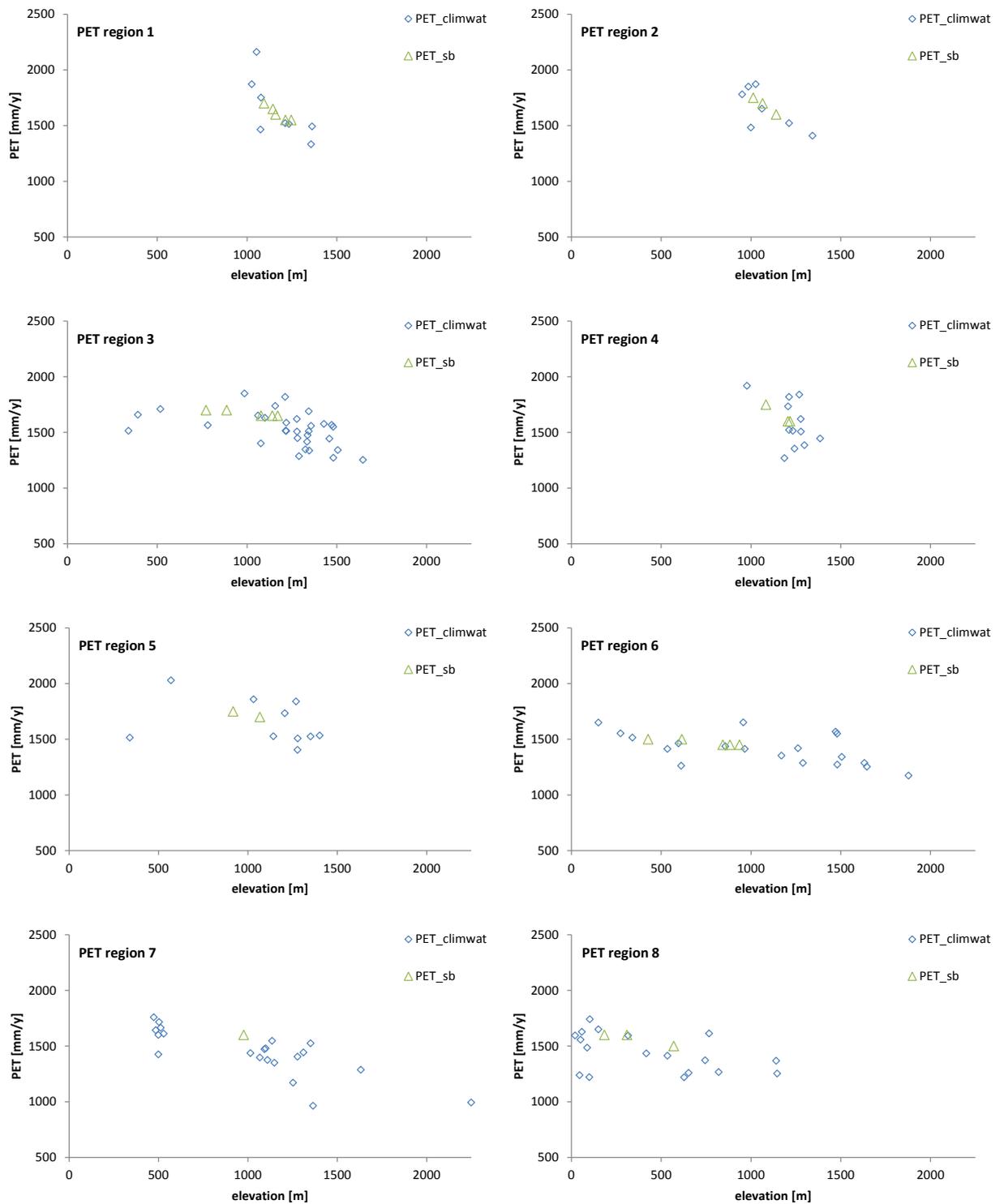


Figura 1-29: Análise da evapotranspiração potencial graficamente representada contra a elevação em oito regiões distintas.

Azul: dados do CLIMWAT. Triângulos verdes: estimativas atribuídas de evapotranspiração da sub-bacia

Cenários de mudanças climáticas

Os cenários de mudanças climáticas estão disponíveis em diversos modelos climáticos. Neste estudo, os cenários de mudanças climáticas são baseados em dois projectos de modelação climática recentemente concebidos financiados pela União Europeia: ENSEMBLES (cenário A1B) e WATCH (A2 cenário). O uso antecipado dos dados da CORDEX Africa não foi possível, pois houve um atraso na publicação dos resultados dos modelos climáticos.

No projecto ENSEMBLES (cenário A1B), a mais recente geração de Modelos Climáticos Regionais (RCMs) foi aplicada para a Europa e grande parte da África, com uma resolução de 50 x 50 km. Três RCMs de ENSEMBLES (cenário A1B) abrangem também a região da bacia do Zambeze (*Figura 1.25*). Nas fronteiras, os RCMs são conduzidos pelos Modelos de Circulação Geral (GCMs). As simulações climáticas são baseadas no cenário de emissão A1B do IPCC. Os dados climáticos não têm correcção de vieses. Os dados sobre os passos temporais mensais foram incluídos neste estudo.

No projecto WATCH (cenário A2), os dados diários de três GCMs foram estatisticamente regionalizados através do mapeamento do quantil (Piani et al., 2010) para uma resolução de meio grau (aproximadamente 50 x 50 km). As simulações são baseadas em cenários de emissão A2 do IPCC. Os dados abrangem o globo inteiro e estão disponíveis de 1960 a 2100. O mapeamento do quantil é baseado em conjuntos de dados de observação do período 1960 – 2000.

A *Tabela 1-4* resume os modelos climáticos usados neste estudo. Os dados destes modelos são usados para se obter cenários futuros relativos a séries temporais mensais de precipitação e temperatura até o final do século XXI na bacia do Zambeze. No caso dos dados de ENSEMBLES (cenário A1B), apenas os sinais de mudança delta são usados, uma vez que uma correcção de vieses não é possível devido à duração insuficiente de períodos temporais de sobreposição entre os dados de modelos climáticos (começando, por exemplo, por 1980) e observações históricas de boa qualidade (até 1990). No caso dos dados regionalizados WATCH (cenário A2), aplica-se uma correcção (escalamento linear) de menores vieses com dados de observação da bacia do Zambeze referentes a 1961-1990.

Ao longo do restante texto designamos os dados do modelo climático ENSEMBLES de cenário A1B, e de cenário A2 os dados do modelo climático WATCH.

Tabela 1-4: Modelos climáticos

Acrónimo	Projecto	Cenário de emissão do IPCC	Instituto	GCM	RCM	Período
DMI	ENSEMBLES	A1B*	DMI	ECHAM5-r3	HIRHAM5	1989-2050
ICTP	ENSEMBLES	A1B*	ICTP	ECHAM5-r3	RegCM3	1980-2100
INM	ENSEMBLES	A1B*	INM	HadCM3Q0	RCA3	1951-2098
CNRM	WATCH	A2**	CNRM	CNRM-CM3	n/a	1960-2100
ECHAM	WATCH	A2**	MPI-M	ECHAM5/MPIOM	n/a	1960-2100
IPSL	WATCH	A2**	IPSL	LMDZ-4	n/a	1960-2100

* O cenário A1B pressupõe um mundo mais integrado, caracterizado por um rápido crescimento económico, uma população global que atinge 9 mil milhões em 2050 e depois diminui progressivamente, uma rápida disseminação das novas e eficazes tecnologias, um mundo convergente com rendimentos médios e modos de vida convergentes entre as regiões, interações sociais e culturais no mundo e ênfase equilibrado sobre todas as fontes de energia.

** O cenário A2 pressupõe um mundo mais dividido, caracterizado por operar de forma independente, nações auto-suficientes, população continuamente crescente e desenvolvimento económico regionalmente orientado.

As Figuras 1.31 a 1.39 mostram uma análise dos dados do modelo climático e cenário de emissão A1B referentes à bacia do Zambeze. A distribuição espacial simulada da precipitação média anual e temperatura do ar através de RCMs é plausível (Figura 1.31). No entanto, existe aparentes vieses nos valores médios anuais. Por exemplo, para a precipitação média anual, o valor observado de cerca de 1000 mm/ano é diferente das simulações de RCM, que geram resultados de aproximadamente 800 mm/ano (DMI, ICTP) e 1200 mm/ano (INM), respectivamente (Figura 1.32). Considerações similares aplicam-se para a temperatura do ar (Figura 1.36). Portanto, apenas os sinais de mudança delta nos interessam. Em geral, os RCMs projectam uma queda na precipitação média anual de até -20% até ao fim do século XXI (Figura 1.35). O aquecimento é projectado de modo a se situar entre +3 a +4 °C em comparação com 1990-2010 (Figura 1.39). As Tabelas 1-5 e 1.6 resumem as projecções de modelo climático sob o cenário de emissões A1B.

Tabela 1-5: Resumo de projecções de precipitação sob o cenário de emissão A1B. Bacia inteira do Zambeze

Período	DMI [mm]	ICTP [mm]	INM [mm]	Δ DMI [%]	Δ ICTP [%]	Δ INM [%]
1990-2010	846	843	1188	0	0	0
2021-2050	808	818	1171	-4	-3	-1
2071-2100	/	695	1100	/	-18	-7

Tabela 1-6: Resumo de projecções de temperatura do ar sob o cenário de emissão A1B. Bacia inteira do Zambeze

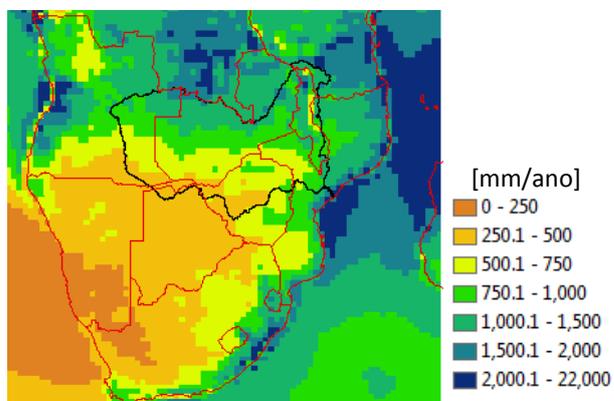
Período	DMI [°C]	ICTP [°C]	INM [°C]	Δ DMI [°C]	Δ ICTP [°C]	Δ INM [°C]
1990-2010	24.3	22.1	22.3	0	0	0
2021-2050	25.5	23.2	23.7	+1.1	+1.0	+1.3
2071-2100	/	26.4	25.8	/	+4.2	+3.4

As Figuras 1.40 a 1.45 mostram uma análise de dados do modelo climático WATCH da bacia do Zambeze. A temperatura de ar é projectada para subir de forma significativa até o final do século XXI (Figuras 1.42 e 1.43). As diferenças entre os modelos climáticos e as observações (CRU) são pequenas. Isso deve-se ao fato de que os dados WATCH representam os dados de modelo climático que foram regionalizados nas observações. Em relação a precipitação, nenhuma mudança significativa é projectada (Figuras 1.40 e 1.41). No entanto, isso aplica-se apenas para uma análise baseada numa agregação ao longo da bacia inteira. Em contrapartida, uma análise baseada em sub-bacias revela que na parte alta das regiões da bacia a precipitação é projectada para diminuir significativamente (até 30%), enquanto que na bacia do Rio Shire (sb_25 e sb_26) as projecções mostram um aumento (Figura 1.44). Existe também diferenças regionais na projecção do aquecimento de até 1,5 °C (Figura 1.45). Isto enfatiza a necessidade de uma avaliação de mudança climática espacialmente distribuída.



Figura 1-30: Extensão espacial dos RCMs incluídos no projecto (cenário A1B)

Precipitação



Temperatura

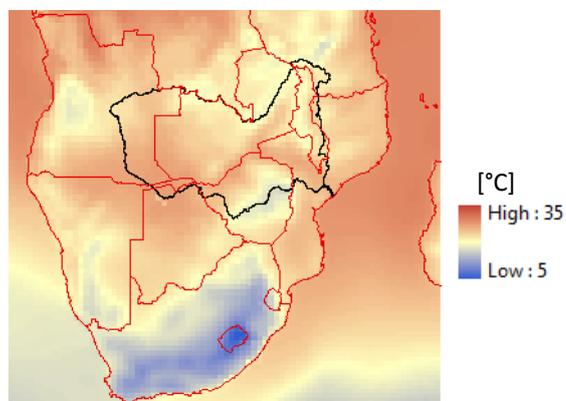


Figura 1-31: Exemplo de distribuição espacial da precipitação e temperatura média anual do ar (1990-2010) simulado pelos modelos climáticos. ICTP de ENSEMBLES (cenário A1B)

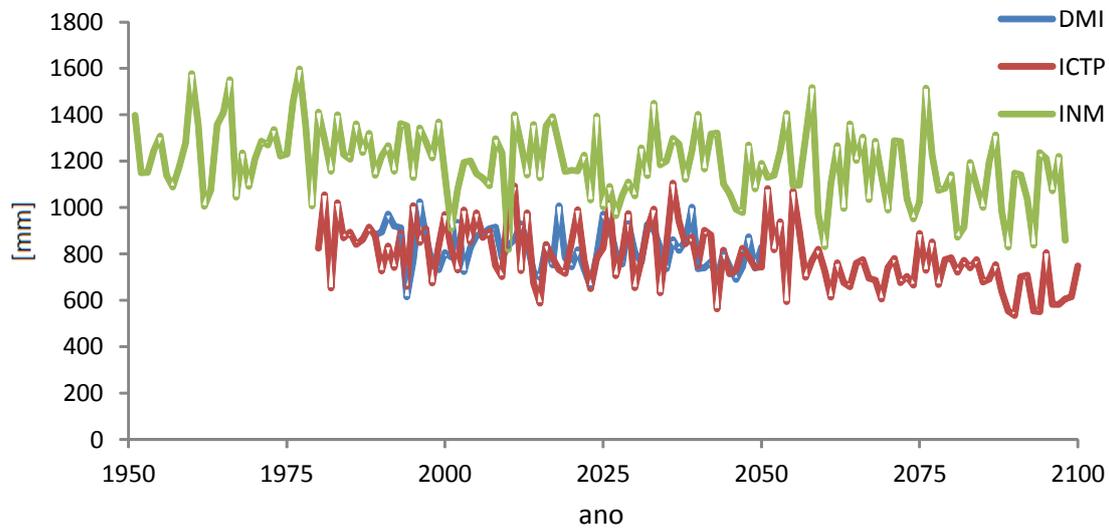


Figura 1-32: Precipitação média anual projectada sob o cenário de emissões A1B. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze.

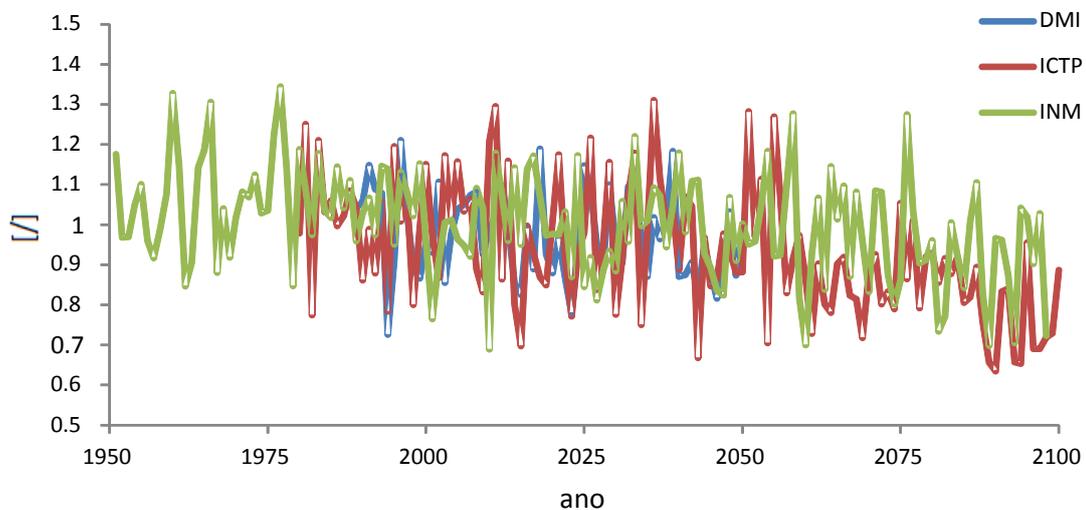


Figura 1-33: Mudança da precipitação anual projectada sob o cenário de emissões A1B. Linha de base: 1990-2010. Agregação: em toda a bacia do Zambeze

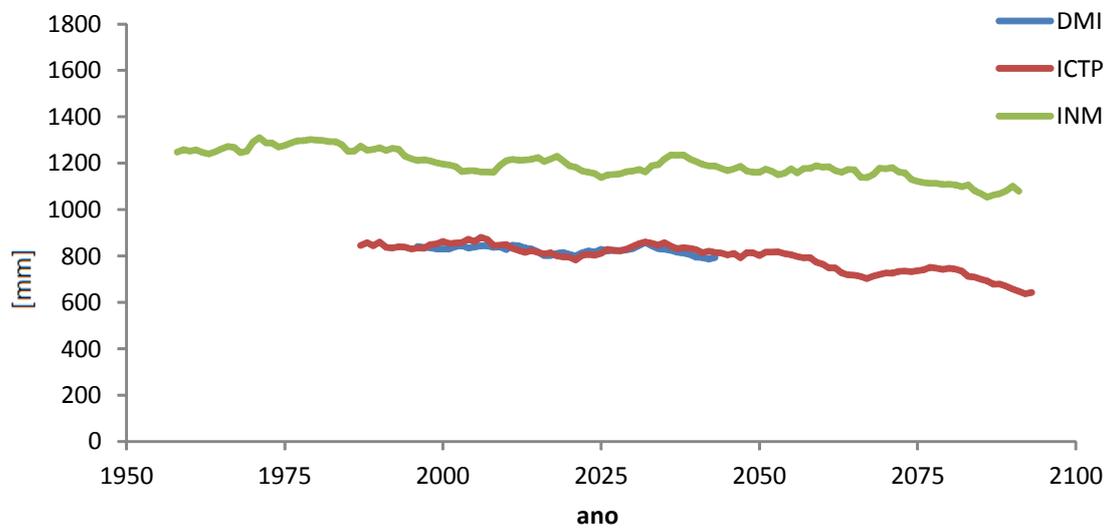


Figura 1-34: Média móvel de 15 anos de precipitação anual sob o cenário de emissões A1B. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze.

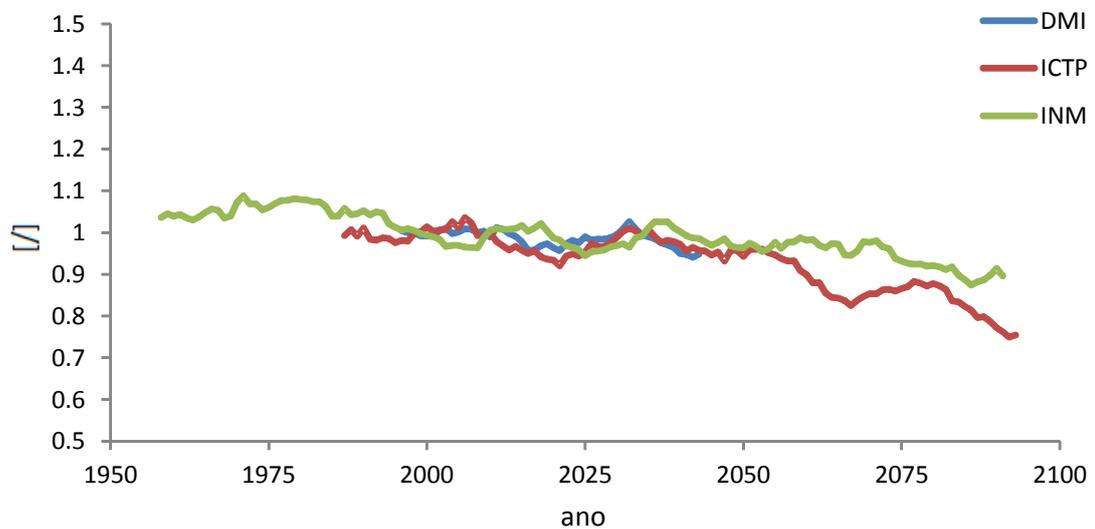


Figura 1-35: Média móvel de 15 anos de mudança da precipitação projectada sob o cenário de emissões A1B. Linha de base: 1990-2010. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze.

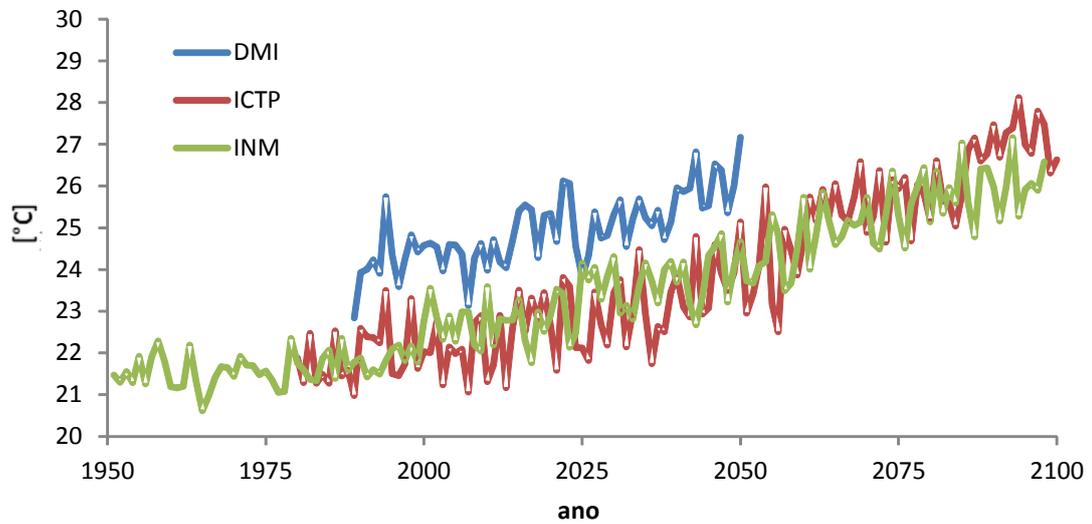


Figura 1-36: *Temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A1B. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze*

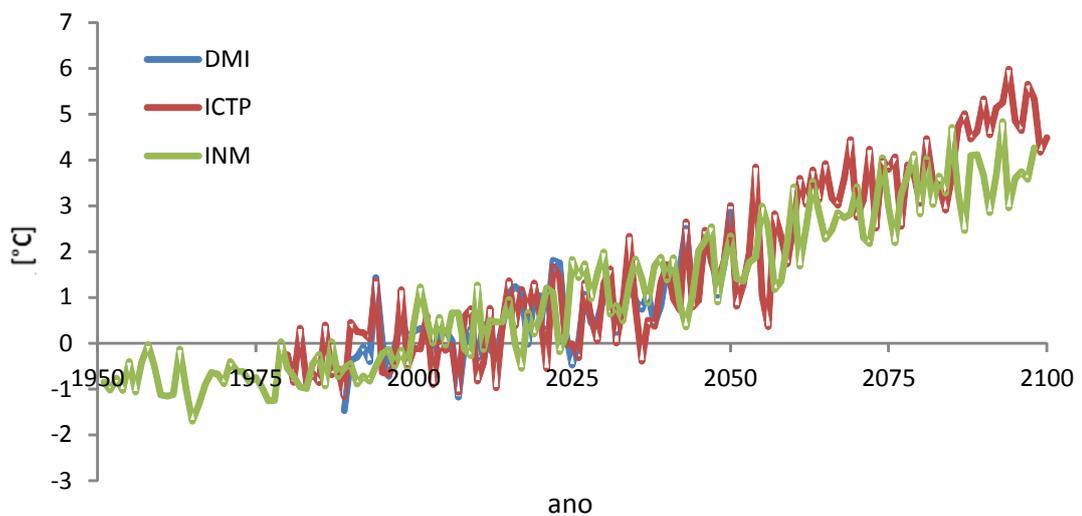


Figura 1-37: *Mudança da temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A1B. Linha de base: 1990-2010. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze*

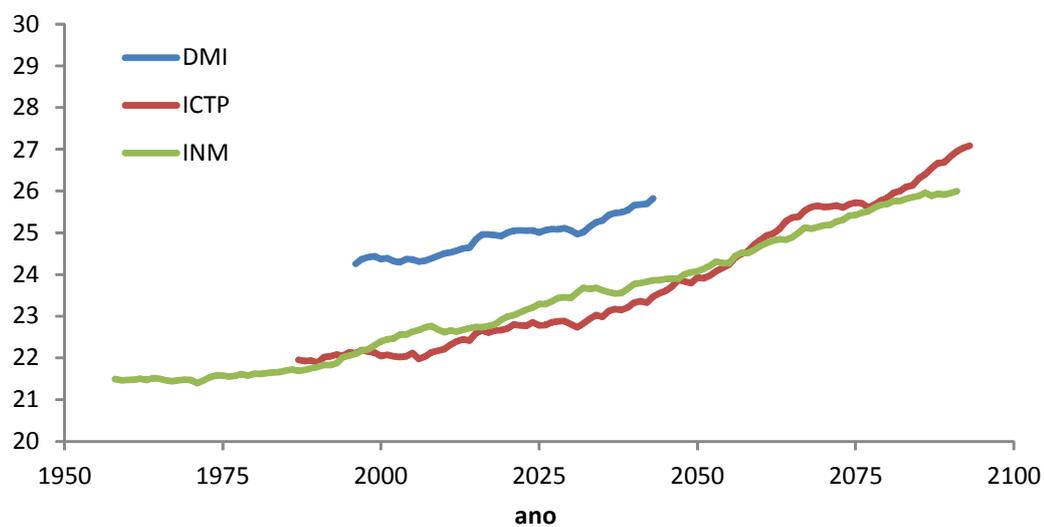


Figura 1-38: Média móvel de 15 anos de temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A1B. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze

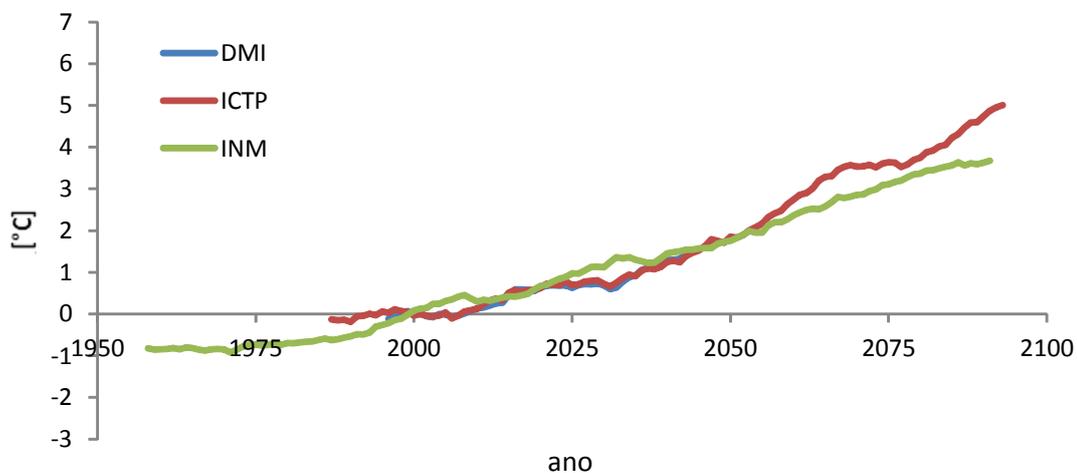


Figura 1-39: Média móvel de 15 anos de mudança da temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A1B. Linha de base: 1990-2010. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze

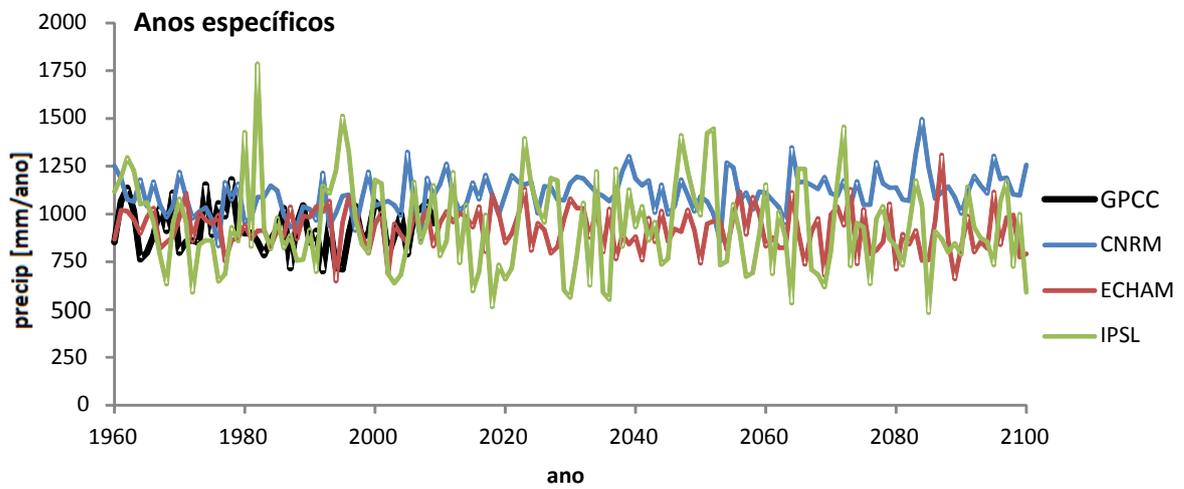


Figura 1-40: Precipitação anual projectada sob o cenário de emissões A2 e dados observados do GPCC. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze

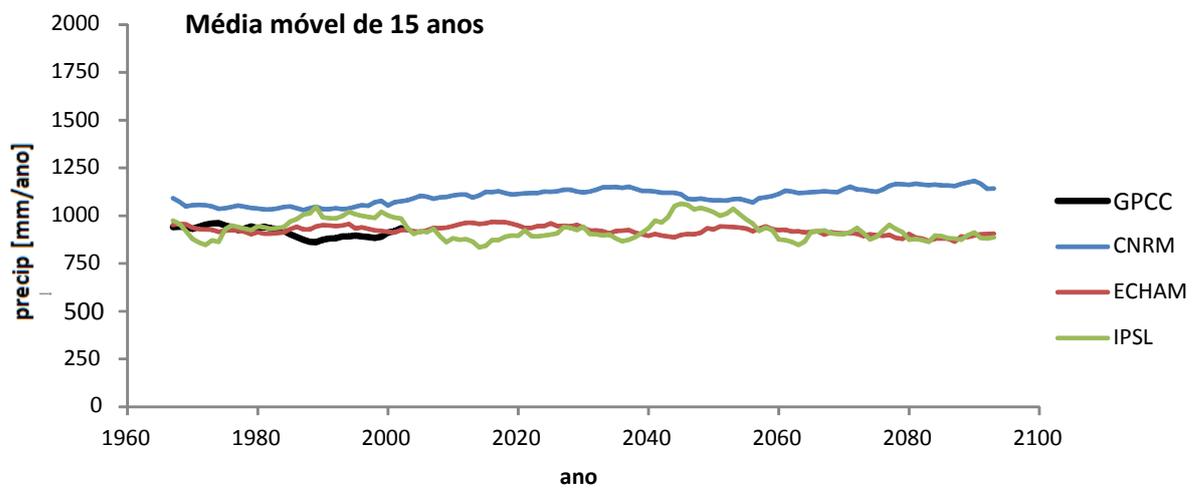


Figura 1-41: Média móvel de 15 anos de precipitação anual projectada sob o cenário de emissões A2 e dados observados do GPCC. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze

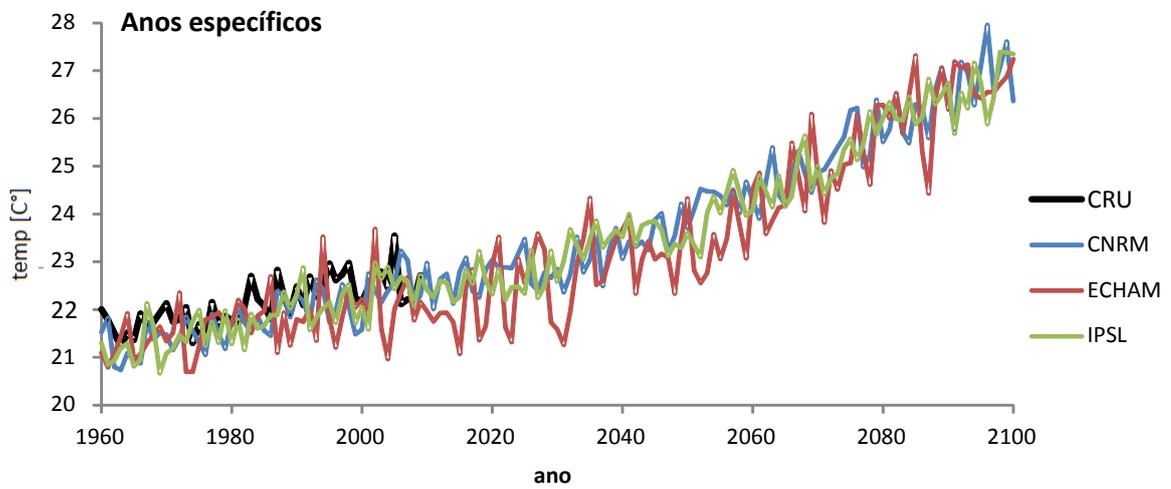


Figura 1-42: Temperatura anual do ar projectada sob o cenário de emissões A2 e dados observados do CRU. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze

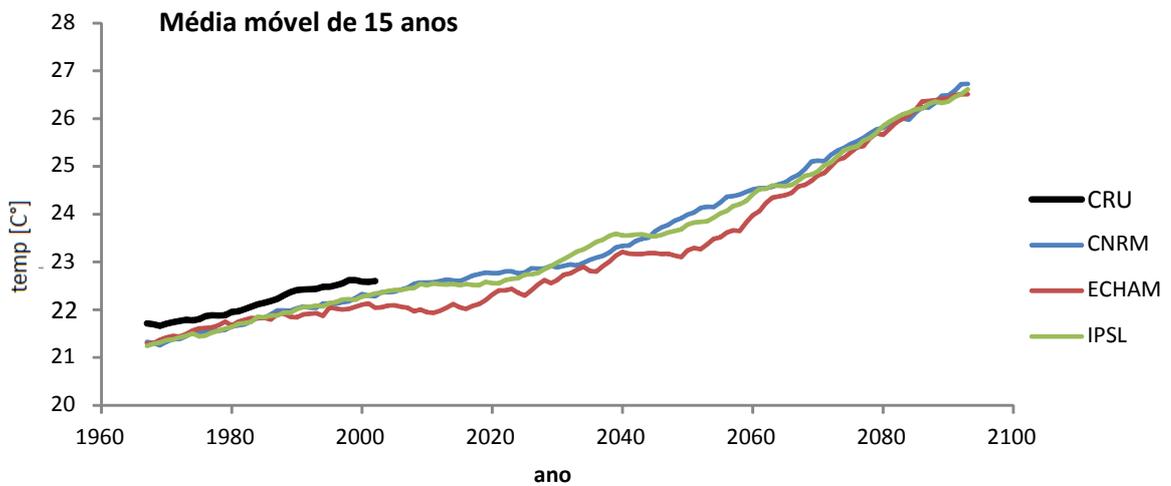


Figura 1-43: Média móvel de 15 anos de temperatura anual do ar projectada sob cenário de emissões A2 e dados observados do CRU. Agregação sobre toda a bacia do Zambeze

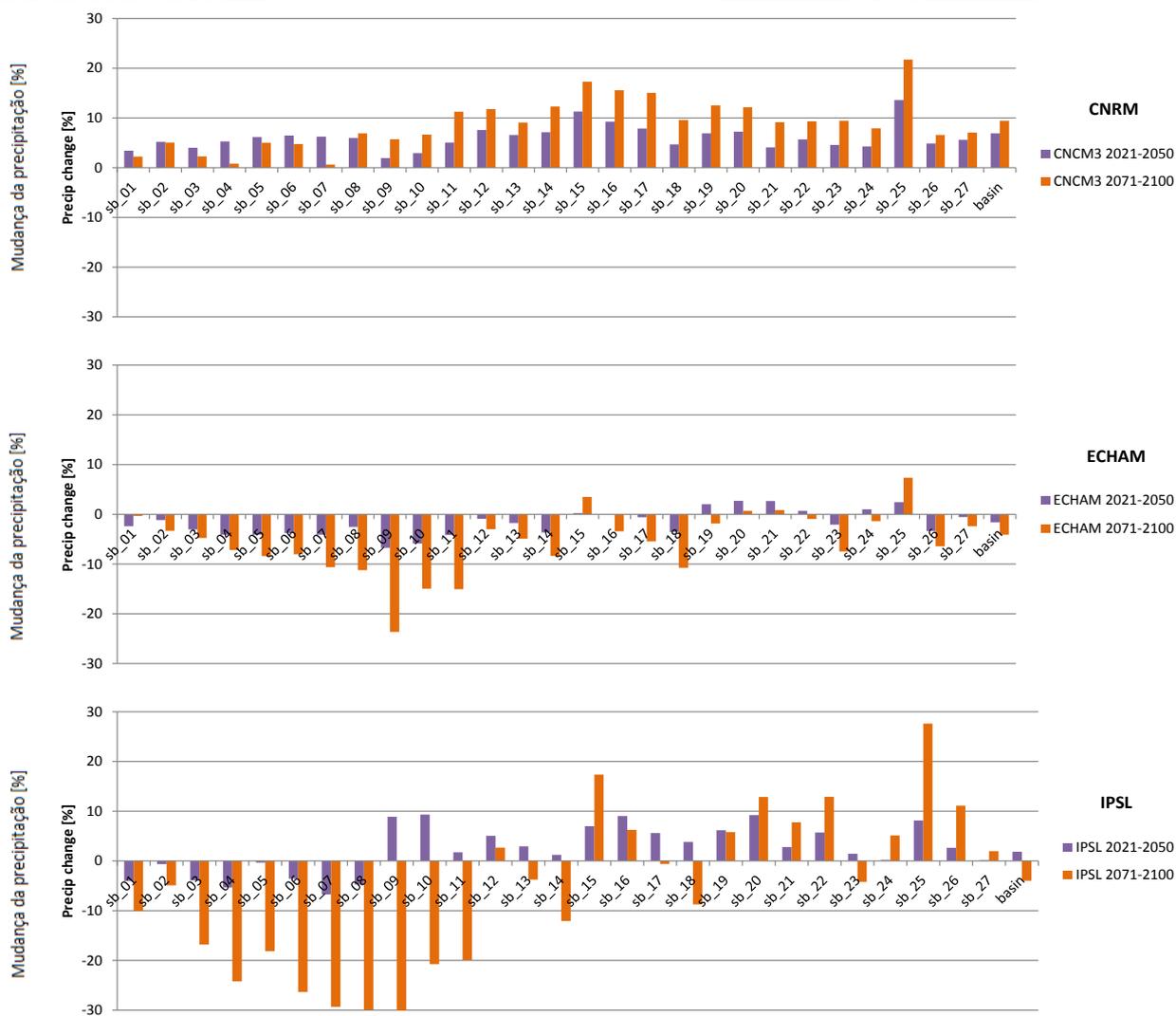


Figura 1-44: Mudança da precipitação média anual de diferentes sub-bacias projectada por GCMs sob o cenário de emissões A2. Período de referência 1961-1990. Períodos futuros 2021-2050 e 2071-2100.

Para a definição de sub-bacia (sb) consulte a Figura 48. No topo: dados do CNRM. No meio: dados do ECHAM. Parte inferior: dados do IPSL

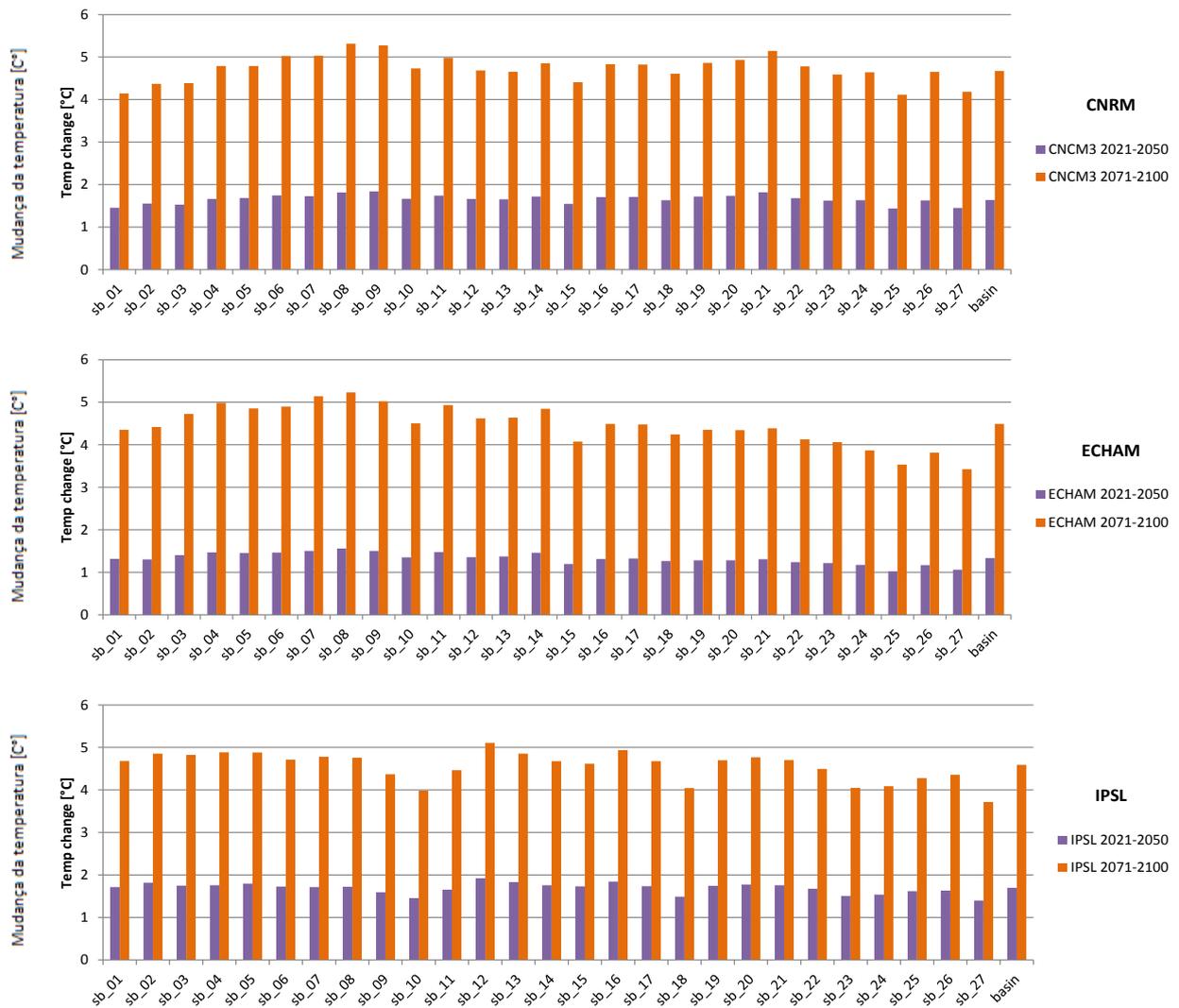


Figura 1-45: Mudança da temperatura média anual de diferentes sub-bacias projectada por GCMs sob o cenário de emissões A2. Período de referência 1961-1990. Períodos futuros 2021-2050 e 2071-2100.

Para a definição de sub-bacia (sb) consulte a Figura 1.48. No topo: dados do CNRM. No meio: dados do ECHAM. Parte inferior: dados do IPSL.

1.6 MODELO E DESCRIÇÃO DO SAD

1.6.1 Estrutura Geral

O Sistema de Apoio à Decisões (SAD) foi concebido para o acesso *online* de (múltiplos) utilizadores através da internet (*Figura 1.46*). O software SAD é instalado num servidor e é constituído por duas partes – o Modelo de Bacia Hidrográfica (RBM) e o Sistema de Gestão de Informações (SGI) – conforme ilustrado na *Figura 1.47*. O RBM é constituído por um Módulo de Balanço Hídrico (WBM) e um Módulo de Distribuição de Água (WAM). O SGI é constituído por uma base de dados, uma interface gráfica do utilizador e ferramentas analíticas. Todas as funções do SAD estão disponíveis para o utilizador por via da interface gráfica do utilizador.

O primeiro passo no desenvolvimento do RBM consistiu na definição da resolução espacial, uma vez que todo o pré processamento de dados subsequente estava baseado nesta resolução. Os elementos espaciais do WBM representam as sub-bacias para simular os processos naturais do balanço hídrico. Define-se um total de 27 sub-bacias (*Figura 1.48*). Este número é fixo e não pode ser alterado pelos utilizadores do SAD.

Em cada sub-bacia aplica-se o mesmo conceito de modelo (*Figura 1.49*). O código foi desenvolvido com base na versão do modelo usada por Kling et al. (2012), que é similar na sua estrutura com a que foi usada em estudos anteriores da bacia do Zambeze (por exemplo, Winsemius et al., 2008). A precipitação pode ser acumulada e evaporada no armazenamento de interceptação. O resto da água que cai na terra ou é armazenada no solo ou gera escoamento como uma função exponencial da humidade do solo (Conceito do tipo HBV). A evapotranspiração do solo depende da humidade do solo e da evapotranspiração potencial. O escoamento gerado é dividido numa componente rápida e lenta que representa o escoamento de base (simulado como reservatório linear). No geral, usa-se passos temporais mensais, mas a intercessão e os módulos de solo internamente usam a discretização nos passos temporais diários para responder a variabilidade intra-mensal (interceptação/evaporação de eventos individuais de pluviosidade; interdependência da humidade do solo, evapotranspiração e geração do escoamento).

As porções das áreas de três diferentes classes de uso de terra são especificadas para cada sub-bacia (bosque, prado, agricultura baseada nos dados do satélite AVHRR). Isto permite que os utilizadores pensem em efectuar mudanças no futuro uso de terra. Contudo, conforme a estrutura actual, não existe diferenças nos parâmetros dos modelos (por exemplo, coeficientes de culturas) entre as classes de uso de terra, mas isto pode ser modificado pelo utilizador. Ajustou-se o WBM ao modelo de parâmetros concentrados para as sub-bacias através de uma comparação entre o escoamento simulado e observado (veja a secção a seguir).

Os elementos espaciais do WAM estão representados por pontos de computação, que respondem pela topologia (a montante/a jusante) da rede hidrográfica. Juntamente com as sub-bacias, os pontos de computação servem como os principais nós para o utilizador aceder aos dados das simulações com o SAD. Existe três diferentes tipos de pontos de computação: (1) pontos fluviais, (2) reservatórios não controlados (lagos, pântanos, e planícies aluviais), (3) reservatórios controlados (ex. Lago Kariba). Utiliza-se um conjunto pré-definido de 40 pontos de computação (*Tabela 1-7, Figura 1.50*). Contudo, o utilizador pode acrescentar pontos de computação adicionais em qualquer local através da interface gráfica do utilizador do SAD. Estes

novos pontos de computação podem representar tanto os reservatórios planejados (ex. hidroeléctricas em Batoka Gorge ou Mependa Uncua) como qualquer local específico de interesse para a descarga ao longo da rede hidrográfica. Se o ponto de computação representa um reservatório controlado, então o utilizador deve especificar as características do reservatório (curva de elevação da área de armazenamento, regras de operação, desvios, etc.). A *Figura 1.51* mostra o conceito básico para a simulação de reservatório e o balanço (mudança no armazenamento) de um reservatório depende das seguintes variáveis:

- influxo a montante (descarga em pontos de computação a montante)
- influxo lateral (escoamento da sub-captação intermédia)
- precipitação sobre a massa de água
- evaporação a partir da massa de água
- desvio do reservatório (consumo líquido)
- efluxo (descargas)

Todas as variáveis estão em unidades de m^3/s . Para o influxo lateral é calculada a área da sub-captação intermédia entre o actual ponto de computação e os pontos de computação imediatos (múltiplos) a jusante. Esta área é reduzida pela área do lago (que varia de passos temporais a passos temporais). Este método garante que também para as vastas zonas húmidas – com variações sazonais na área de massa de água de milhares e milhares de km^2 – o balanço hídrico possa ser fechado. A característica chave de reservatórios controlados e não controlados é a relação de volume-área-elevação, onde o volume é a unidade chave de conta (hm^3) para o cálculo do balanço do modelo. Os passos temporais computacionais internos diários são usados para considerar mudanças graduais no armazenamento e na área, o que é importante para determinar a evaporação da massa de água. A evaporação é calculada como a evapotranspiração potencial com aumento de 5% (de acordo com a FAO 56, Allen et al., 1998).

As zonas húmidas são modeladas como reservatórios com uma relação armazenamento-descarga fixa. Na maioria das zonas húmidas, uma relação linear mostrou-se suficiente. A única excepção é o Lago Malawi, onde se usa uma relação não linear. As vazões dos reservatórios são modeladas de acordo com as operações de reservatórios com curvas indicadoras do armazenamento. Tais curvas indicadoras possibilitam modelar a redução sazonal de nível de água nos reservatórios, que imita as operações reais de Kariba e Cahora Bassa para o controlo das inundações. Os atributos adicionais constituem descarga desejada em função das exigências de armazenamento (que é similar ao conceito de zonamento encontrado na operação de muitos reservatórios) e de fluxos ambientais.

Os desvios de água (para a irrigação) podem ser retirados em todos os três tipos de pontos de computação. No caso dos pontos de rio e reservatórios não controlados (zonas húmidas), a água é retirada do rio, mas só se o caudal a jusante (fluxos ambiental) requerido (opcional) for mantido. No caso de reservatórios controlados, a água é retirada do armazenamento do reservatório.

A seguinte priorização de água é usada em reservatórios controlados para determinar o armazenamento e as vazões do reservatório:

1. fluxo ambiental em função do mês
2. desvios (ex. para irrigação) em função do mês
3. descarga desejada (ex. energia hidroeléctrica) em função de armazenamento
4. curva de elevação (ex. para controlo de inundações) em função do mês

Não se permite que o nível do reservatório ultrapasse a curva de elevação; aumenta-se as vazões em condições em que os altos influxos resultariam num nível de água mais alto. Os níveis de água mais baixos que a curva de elevação são possíveis devido a outras vazões com maior prioridade por exemplo (1 a 3). Se o nível de água baixar até abaixo do nível mínimo de operação (que é possível devido a baixos influxos e alta evaporação), então o efluxo do reservatório cessa. Em geral, o modelo é capaz de imitar as características das operações dos reservatórios mais importantes, à semelhança do modelo de HEC-ResSim, por exemplo. No modelo, cada desvio e reservatório controlado só se tornam efectivos na simulação depois do ano de início (data de aceitação). Isto permite uma simulação histórica contínua embora as propriedades de captação tenham mudado com o tempo.

Os efluxos a partir dos pontos de computação são encaminhados para os próximos pontos de computação a jusante com método de retardamento simples. Este encaminhamento só é considerado nos pontos de computação localizados nas secções de controlo das sub-bacias. Em geral, usa-se um valor de três dias para o encaminhamento (routing), com a excepção dos pontos de computação localizados directamente a montante de vastas zonas húmidas (Planície aluvial de Barotse, Pântanos de Chobe, planícies de Kafue), onde é usado um valor de 10 dias para o encaminhamento. Este método de encaminhamento simples resulta num tempo de viagem da nascente Zambeze para Moçambique de aproximadamente 5 semanas para as cheias. Note-se que também a retenção em reservatórios controlados e não controlados causa atenuação adicional para as cheias indo para jusante.

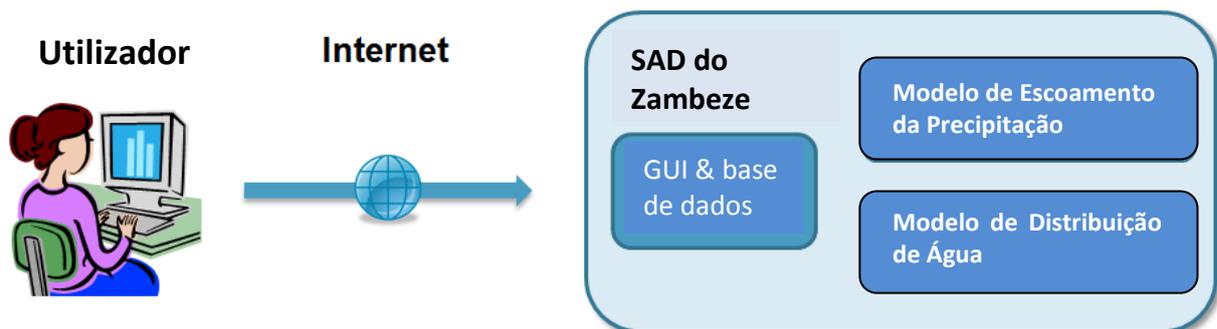


Figura 1-46: Desenho Geral do SAD

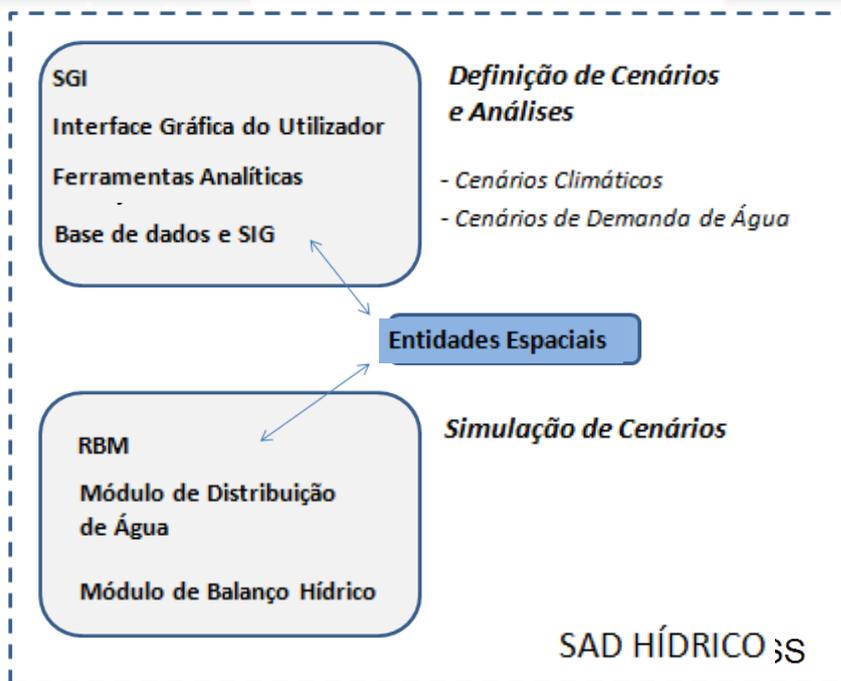


Figura 1-47: Conceito geral do Sistema de Apoio a Decisão (SAD). IMS...Sistema de Gestão de Informação. RBM. Modelo de Bacia Hidrográfica

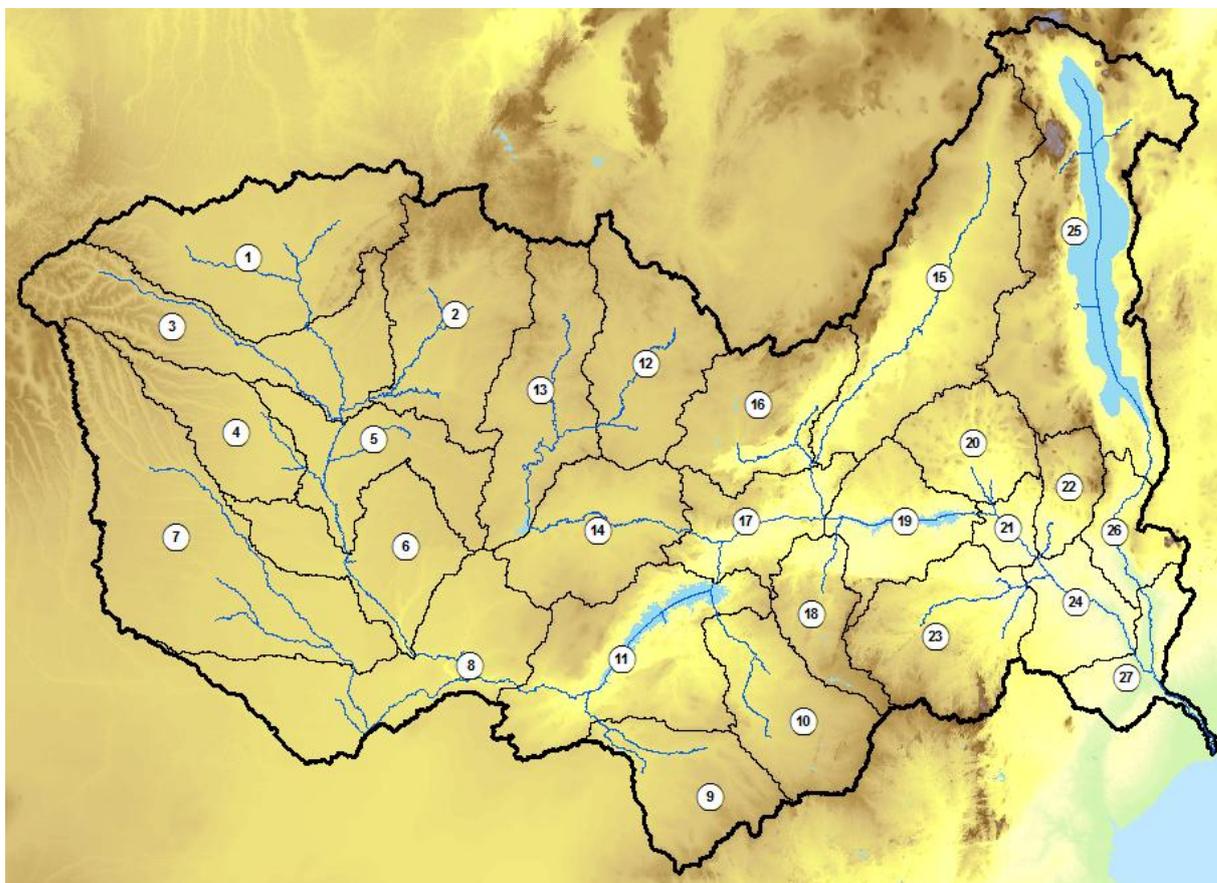


Figura 1-48: Sub-bacias do Módulo de Balanço Hídrico (WBM)

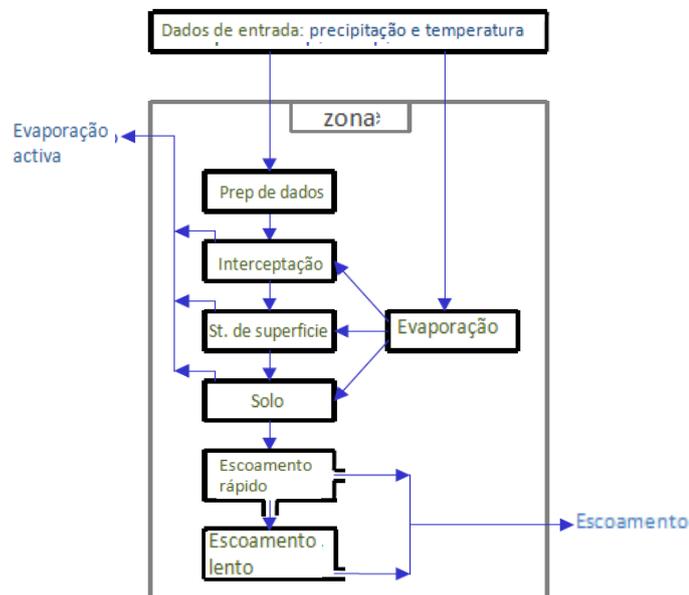


Figura 1-49: Estrutura conceitual do Módulo de Balanço Hídrico (WBM)

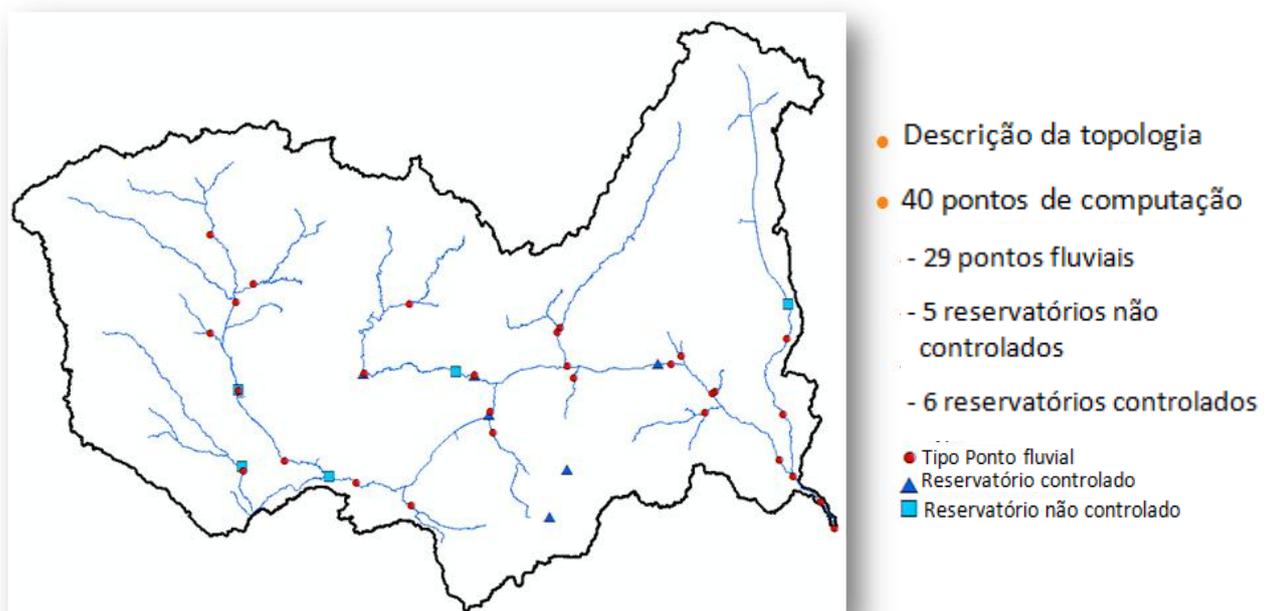


Figura 1-50: Pontos de Computação do Módulo de Distribuição de Água (WAM)

Tabela 1-7: Conjunto Pré-definido de pontos de computação do Módulo de Distribuição de Água (WAM).

Os primeiros 27 pontos de computação estão localizados nas secções de controlo das sub-bacias do WBM

CP	Rio	Localização	Tipo
1	Zambezi	Chavuma Mission	Ponto do rio
2	Kabompo	Watopa Pontoon	Ponto do rio
3	Zambezi	Lukulu	Ponto do rio
4	Luanginga	Kalabo	Ponto do rio
5	Zambezi	Senanga	Ponto do rio
6	Zambezi	Katima Mulilo	Ponto do rio
7	Kwando	Kongola	Ponto do rio
8	Zambezi	Queda da Victória	Ponto do rio
9	Gwaai	Kamativi	Ponto do rio
10	Sanyati	Na fóz do Sanyati	Ponto do rio
11	Zambezi	A jusante da barragem de Kariba	Ponto do rio
12	Kafue	Mswebi	Ponto do rio
13	Kafue	A jusante da barragem de Itezhi-Tezhi	Ponto do rio
14	Kafue	A jusante da barragem Kafue Gorge	Ponto do rio
15	Luangwa	Confluência a montante de Lunsemfwa	Ponto do rio
16	Luangwa	Ponte de Luangwa/ Grande Estrada do Leste	Ponto do rio
17	Zambezi	Confluência a jusante de Luangwa	Ponto do rio
18	Panhane	Confluência a jusante de Duangua	Ponto do rio
19	Zambezi	Confluência a jusante da barragem de Cahora Bassa	Ponto do rio
20	Luia	Confluência a jusante de Cherisse	Ponto do rio
21	Zambezi	Tete / Matundo-Cais	Ponto do rio
22	Revubue	Chingoze	Ponto do rio
23	Luenha	Luenha 1	Ponto do rio
24	Zambezi	Ponte Dona Ana / Mutarara	Ponto do rio
25	Shire	Liwonde	Ponto do rio
26	Shire	Chiromo	Ponto do rio
27	Zambezi	Na foz do Zambeze	Ponto do rio
28	Zambezi	Planície aluvial de Barotse	Reservatório não controlado
29	Zambezi	Planície aluvial de Caprivi / Pântano de Chobe	Reservatório não controlado
30	Kafue	Planície de Kafue	Reservatório não controlado
31	Shire	Lago Malawi	Reservatório não controlado
32	Kwando	Planície aluvial de Kwando	Reservatório não controlado
33	Zambezi	Lago Kariba	Reservatório não controlado
34	Kafue	Itezहितezhi	Reservatório não controlado
35	Kafue	Kafue Gorge	Reservatório não controlado
36	Zambezi	Cahora Bassa	Reservatório não controlado
37	Sanyati	Reservatórios cumulativos	Reservatório não controlado
38	Panhane	Reservatórios cumulativos	Reservatório não controlado
39	Zambezi	Caia	Ponto do rio
40	Zambezi	Marromeu	Ponto do rio

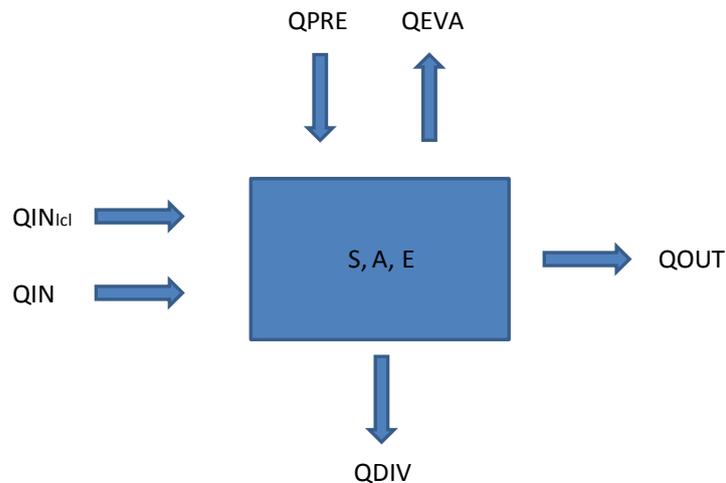


Figura 1-51: Variáveis do Módulo de Distribuição de Água (WAM).

QIN... influxo a montante. QINicl...influxo lateral. QPRE...precipitação na massa de água. QEVA...evaporação da massa de água. QDIV...desvio do reservatório (consumo líquido). S...armazenamento no reservatório. A...área da massa de água. E...elevação da superfície de água. QOUT...efluxo

1.6.2 Calibração

Os dados observados de descarga medidos nos indicadores foram usados para a calibração dos parâmetros do Modelo de Bacia Hidrográfica (RBM). O objectivo era obter uma boa combinação entre a descarga simulada e observada para o período 1961-1990. O desafio consistiu no facto de que os dados da descarga observada de alguns indicadores pareciam ter sido afectados por graves vieses (por exemplo, dados de descarga da Missão Chavuma). Tais dados foram excluídos da calibração. Além disso, os dados observados do nível de água dos reservatórios foram usados para os níveis de água simulados.

Foram usados os seguintes métodos durante a calibração do parâmetro:

- Testes de sensibilidade multi-dimensional.
- Optimização do *Shuffled Complex Evolution* (SCE) (Duan et al., 1992).
- Optimização do *Multi-objective Dynamically Dimensioned Search* (moDDS) (extensão do DDS, Tolson and Shoemaker, 2007)
- Calibração do parâmetro manual.

Além da comparação visual da descarga simulada e observada e dos níveis de água, mediu-se o desempenho do modelo para a simulação de descarga nos indicadores com a estatística de KGE modificada (Gupta et al., 2009; Kling et al., 2012) e a sua correlação de três subcomponentes sem dimensões, a razão de vieses e a razão de variabilidade:

$$KGE' = 1 - \frac{r - 1^2 + \beta - 1^2 + \gamma - 1^2}{2}$$

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \qquad \gamma = \frac{CV_s}{CV_o} = \frac{\sigma_s/\mu_s}{\sigma_o/\mu_o}$$

onde

KGE' é a estatística modificada de KGE [/]

r é a correlação entre as séries temporais de descarga simulada e observada [/]

β é a razão de vieses [/]

γ é a razão de variabilidade [/]

μ é a descarga média [m^3/s]

CV é o coeficiente de variação [/]

σ é o desvio padrão [m^3/s]

s é o subscrito indicador de valores simulados

o é o subscrito indicador de valores observados

A otimização na estatística de KGE garante que se obtenha uma solução equilibrada para a correlação (isto é, dinâmica temporal), vieses (isto é, volume médio do fluxo), e variabilidade (isto é, distribuição de fluxos, curva de caudais classificados). Isto não seria garantido se fosse otimizado na conhecida eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE, Nash e Sutcliffe, 1970) ou no relativo erro médio ao quadrado, por exemplo (Gupta et al., 2009).

A calibração concentra-se principalmente em quatro parâmetros do Módulo de Balanço Hídrico (WBM) e na função (linear) de armazenamento-descarga das terras húmidas (reservatórios não controlados) do Módulo de Distribuição de Água (WAM). Os quatro parâmetros calibrados do WBM são:

- capacidade de armazenamento do solo
- expoente de computação de geração do escoamento (método HBV)
- índice a base do fluxo, isto é, fração do escoamento gerado que infiltra no armazenamento do fluxo de base
- coeficiente de recessão do fluxo de base (coeficiente linear do reservatório)

Durante a calibração provou-se que é suficiente usar o mesmo coeficiente de recessão do fluxo de base em todas sub-bacias, em quanto que para os outros três parâmetros usa-se diferentes valores (calibrados) em sub-bacias individuais, assim implicitamente respondendo pela complexa interacção entre clima, vegetação, solos, geologia, aquíferos e escoamento.

O período de calibração foi definido como 1961 a 1990, com um período de aceleração de 1 ano (para as variáveis de estado modelo). O período 1961-1990 tem a melhor qualidade na disponibilidade de estação de precipitação assim como no número de indicadores com descargas observadas. No meio deste período, nos anos 1970, foram construídos os reservatórios de Itezitshizi e Cahora Bassa. Portanto, o conjunto de dados da descarga observada não é homogéneo. Ademais, as frequentes mudanças nas regras de operação nos grandes reservatórios (Kariba, Cahora Bassa) complicam a avaliação das simulações da descarga nas secções a jusante do rio Zambeze. Além disso, a relação entre o nível de água e o fluxo do lago Malawi é afectada por mudanças no nível da secção de controlo (por exemplo, devido a sedimentação) e intervenções humanas (por exemplo, a barragem de Kamuzu Barragem logo a jusante da secção de controlo do lago foi construída em 1965 para controlar o fluxo do rio Shire). Acima de tudo, a qualidade dos dados de descarga observados em alguns indicadores é questionável, uma vez que existem diferenças não plausíveis ao comparar as séries temporais da descarga (ver *Figura 1.52* e *Figura 1.53*). A principal razão da incerteza pode ser a relação imprecisa de cota-descarga, que entra em efeito ao transformar os dados do nível de água (que são na verdade os dados medidos no indicador) em descarga.

A *Tabela 1-8* resume o procedimento de calibração e a estatística de desempenho, com o aviso de que os dados observados da descarga não são confiáveis em vários indicadores. No geral, o modelo funciona bem, com estatística de desempenho igual ou superior a do estudo anterior do Zambeze (por exemplo, Harrison e Whittington, 2002; Winsemius et al. 2006). As *Figuras 1.54 e 1.55* mostram hidrogramas simulados e observados mensalmente em seis localizações chave da bacia do Zambeze. As dinâmicas temporais de descarga observada foram bem reproduzidas na simulação. Mais comparações com dados observados de descarga são apresentadas para a sazonalidade na descarga (*Figura 1.56*), duração mensal do fluxo (isto é, distribuição dos fluxos, *Figura 1.57*), e variações anuais na descarga (*Figura 1.58*). Os níveis de água simulados nos reservatórios de Kariba e Cahora Bassa assim como no Lago Malawi mostram funções similares (*Figura 1.59*). Contudo, a partir desta *Figura* torna-se claro também que as regras reais de operação mudam ao longo do tempo – conforme exemplificado pelo Cahora Bassa onde as reduções eram mais pequenas durante os anos 2000 do que durante os anos 1970 depois do primeiro enchimento do reservatório. Tais mudanças nas regras de operação ao longo do tempo não são consideradas pelo SAD, onde são, pelo contrário, fixas.

Tabela 1-8: Procedimento de calibração e estatística de desempenho. PC identifica a localização (ver *Tabela 1-7*) e corresponde às sub-bacias definidas na *Figura 1.48*

CP	Periodo	Methodo	Comentário	r [/]	β [/]	γ [/]	KGE' [/]	NSE [/]
1	1961-1990	com 3	Qobs não plausível	0.87	0.55	0.66	0.42	0.39
2	1961-1990	SCE		0.94	1.00	0.99	0.94	0.89
3	1961-1990	moDDS com 8		0.94	0.98	1.07	0.90	0.87
4	1961-1990	SCE		0.87	1.00	0.99	0.87	0.75
5	1961-1990	com 8	Qobs não plausível	0.94	1.08	1.41	0.58	0.53
6	1961-1990	com 8	Qobs não plausível	0.93	0.84	0.93	0.82	0.82
7	1961-1990	SCE		0.62	1.07	0.94	0.61	0.20
8	1961-1990	moDDS com 3		0.93	1.00	0.96	0.92	0.87
9	1961-1990	SCE		0.88	1.00	1.00	0.88	0.76
10	1961-2009	SCE		0.88	1.00	0.99	0.88	0.76
11	1961-1990	manual (a)	Operações de Kariba	0.53	0.96	0.75	0.47	0.24
12	1961-1990	SCE		0.93	1.00	0.99	0.93	0.87
13	1961-1976	SCE		0.95	1.00	0.98	0.95	0.90
14	1961-1976	SCE		0.91	1.06	0.84	0.81	0.83
15	1961-1990	com 16		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
16	1961-1990	SCE		0.93	1.00	1.00	0.93	0.87
17	1961-1990	manual (a)		0.93	0.92	0.77	0.74	0.80
18	1961-2009	com 10		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
19	1961-1990	manual (a)	Operações de Cahora Bassa	0.41	0.96	0.87	0.39	-0.02
20	1961-1990	com 22		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
21	1961-1990	manual (a)		0.73	1.09	0.94	0.71	0.44
22	1961-1990	SCE		0.93	1.00	1.00	0.92	0.85
23	1961-1990	SCE		0.96	1.00	1.00	0.96	0.91
24	1961-1990	manual (a)		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25	1961-1990	manual (b)	Operações do lago Malawi	0.40	1.00	0.81	0.37	-0.01
26	1961-1990	manual (b)		0.65	1.05	1.01	0.65	0.24
27	1961-1990	manual (a)		0.73	1.06	0.84	0.68	0.50

Manual (a): calibração manual com os mesmos valores de parâmetro para a sub-bacia (PC) 11, 17, 19, 21, 24, 27

Manual (b): calibração manual com os mesmos valores de parâmetro para a sub-bacia (PC) 25, 26

A mudança de operações em Kariba, Cahora Bassa e Lago Malawi afectou os dados observados

(o desempenho estatístico foi melhorado principalmente para o Zambeze nas Cataratas Victoria (PC 8) ao incluir a componente de encaminhamento no modelo e recalibração dos parâmetros de modelos)

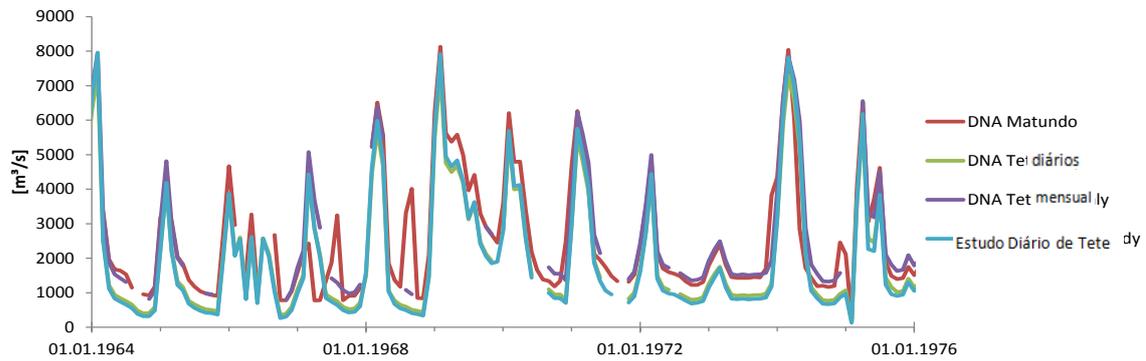


Figura 1-52: Comparação de quatro diferentes fontes de dados observados referentes a descarga do Zambeze perto de Tete. Os dados diários foram agregados para valores mensais. Idealmente, não deverá haver quaisquer diferenças nos dados observados

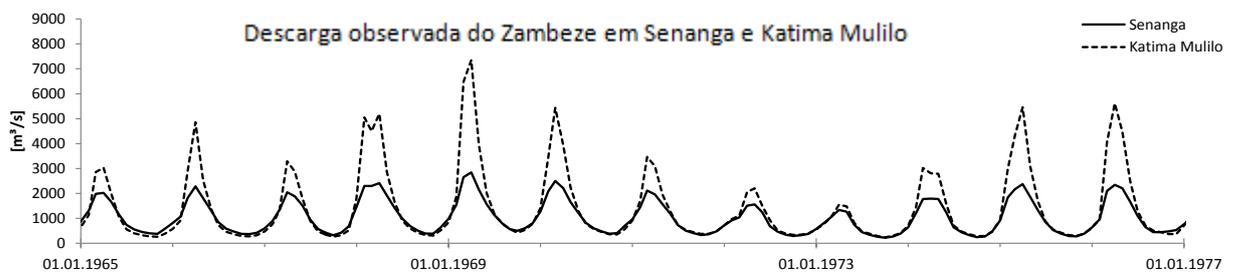


Figura 1-53: Dados observados de descarga do Zambeze em Senanga (a montante) e Katima Mulilo (a jusante).

Não existe afluentes significativos entre os dois indicadores adjacentes e os dados de descarga deveriam ser bastante similares, mas não são devido a dados de fluxo máximo com vieses.

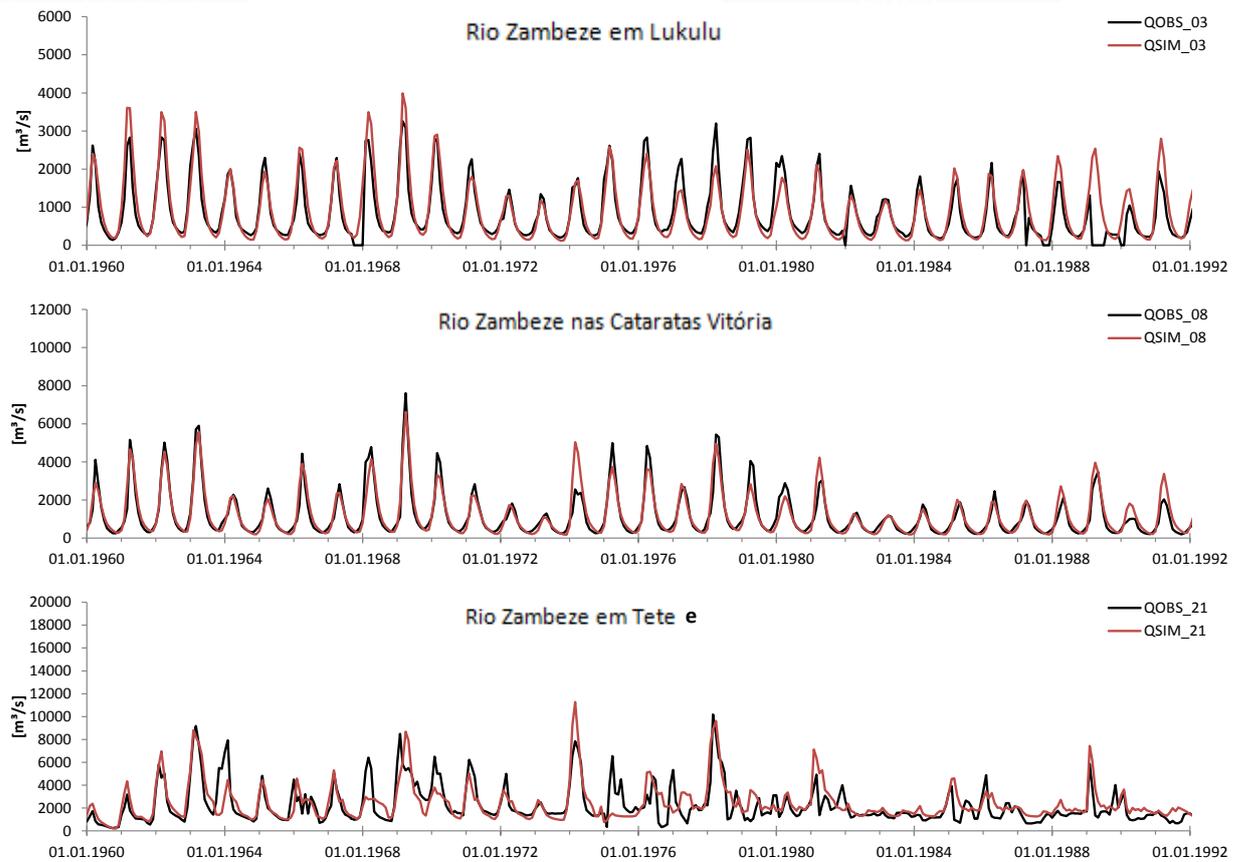


Figura 1-54: Hidrogramas mensais simulados (a vermelho) e observados (a preto) em localizações chave ao longo do Zambeze

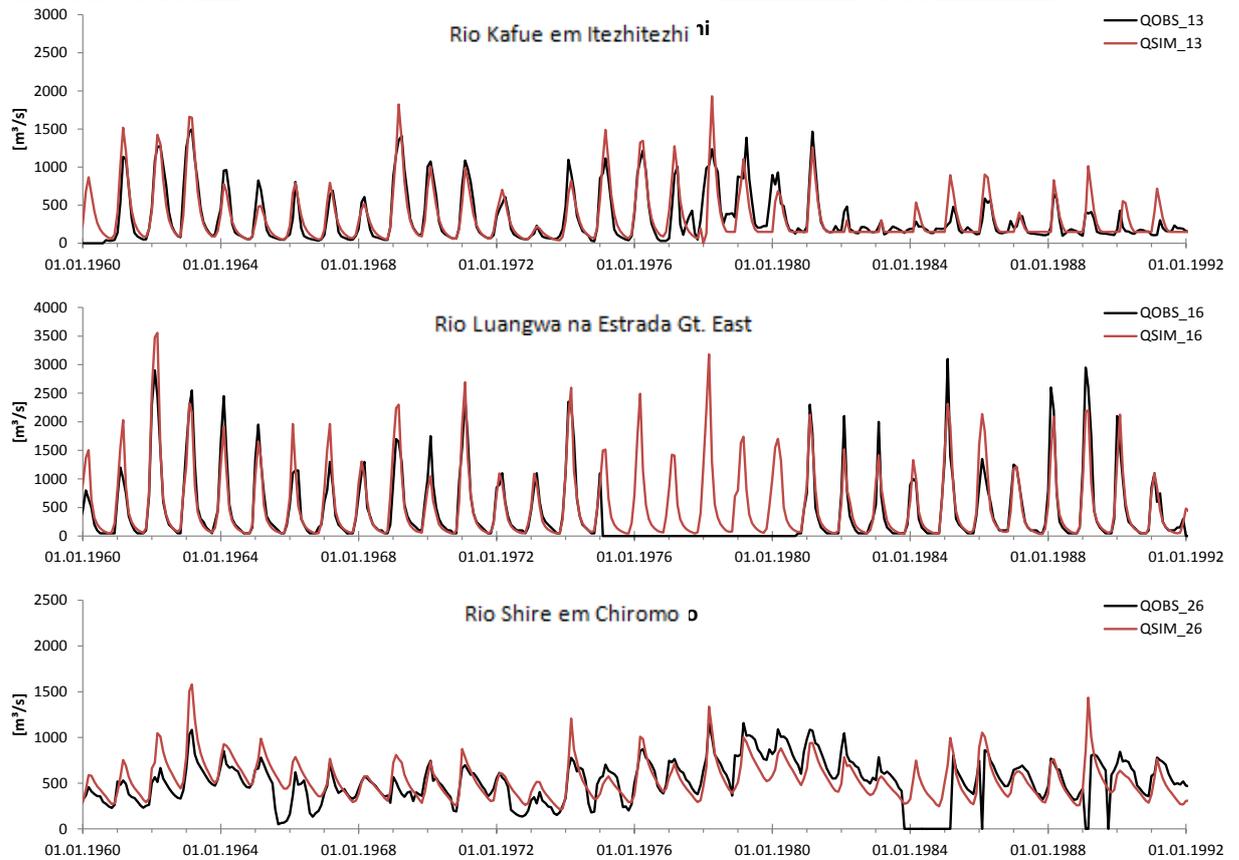


Figura 1-55: Hidrogramas mensais simulados (a vermelho) e observados (a preto) dos três principais afluentes do Zambeze

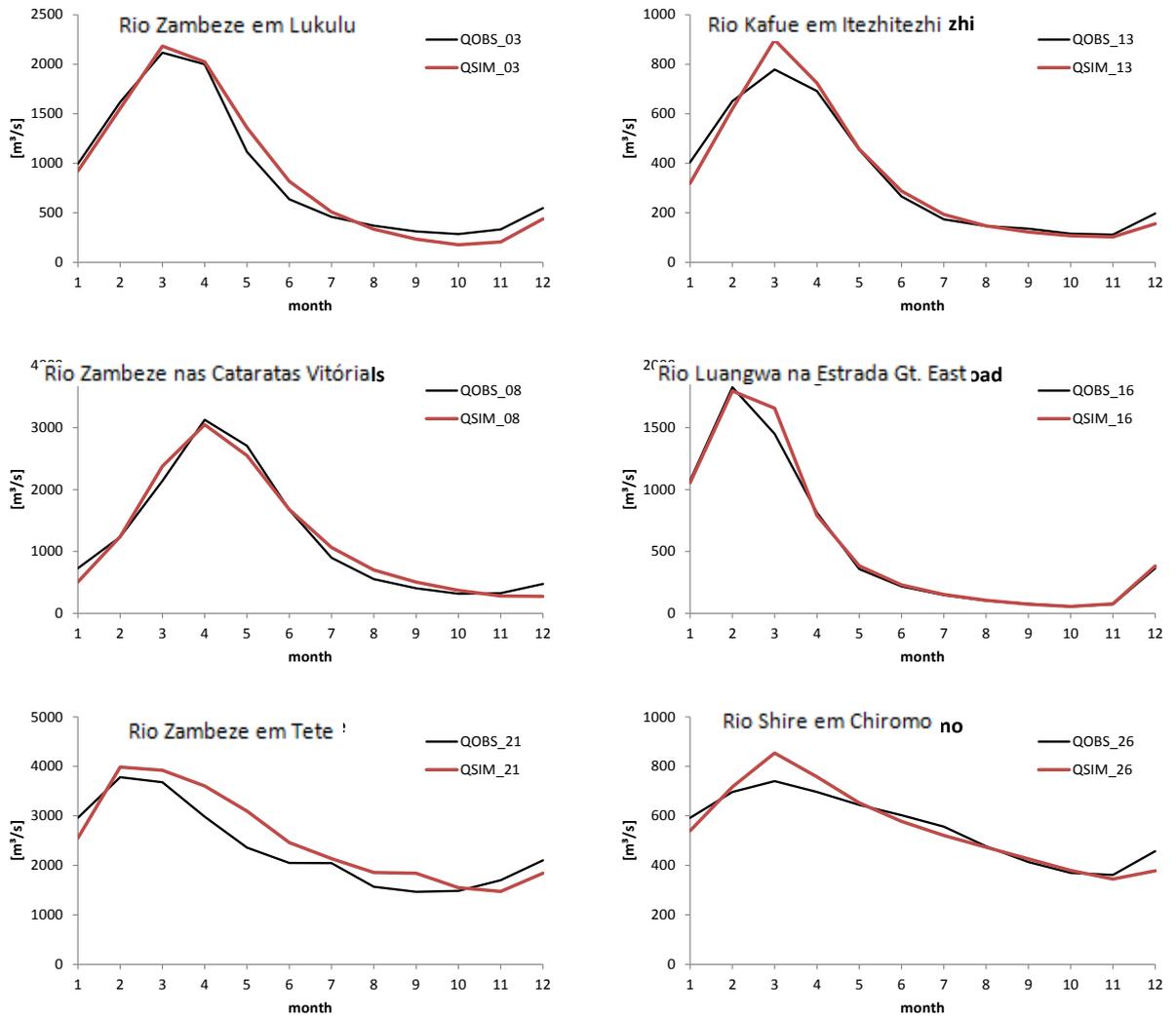


Figura 1-56: Sazonalidade simulada (a vermelho) e observada (a preto) da descarga em localizações chave na bacia do Zambeze. Período 1961-1990

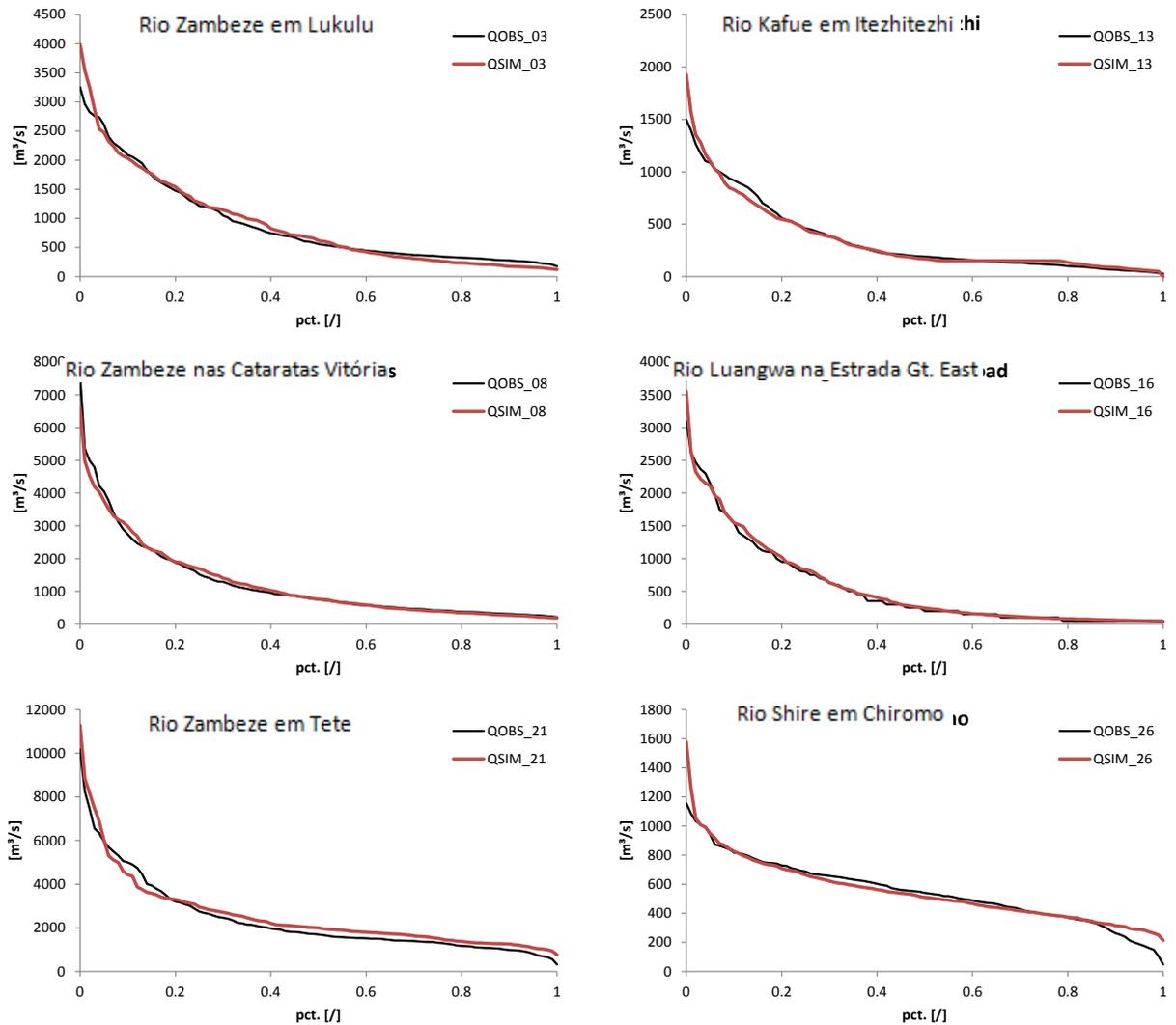


Figura 1-57: Curva mensal simulada (a vermelho) e observada (a preto) de caudais classificados em localizações chave da bacia do Zambeze. Período 1961-1990.

Os baixos caudais observados no Shire em Chiromo foram causados por bloqueios de cursos de água durante a construção da Barragem Kamuzu em 1965 e outras intervenções humanas

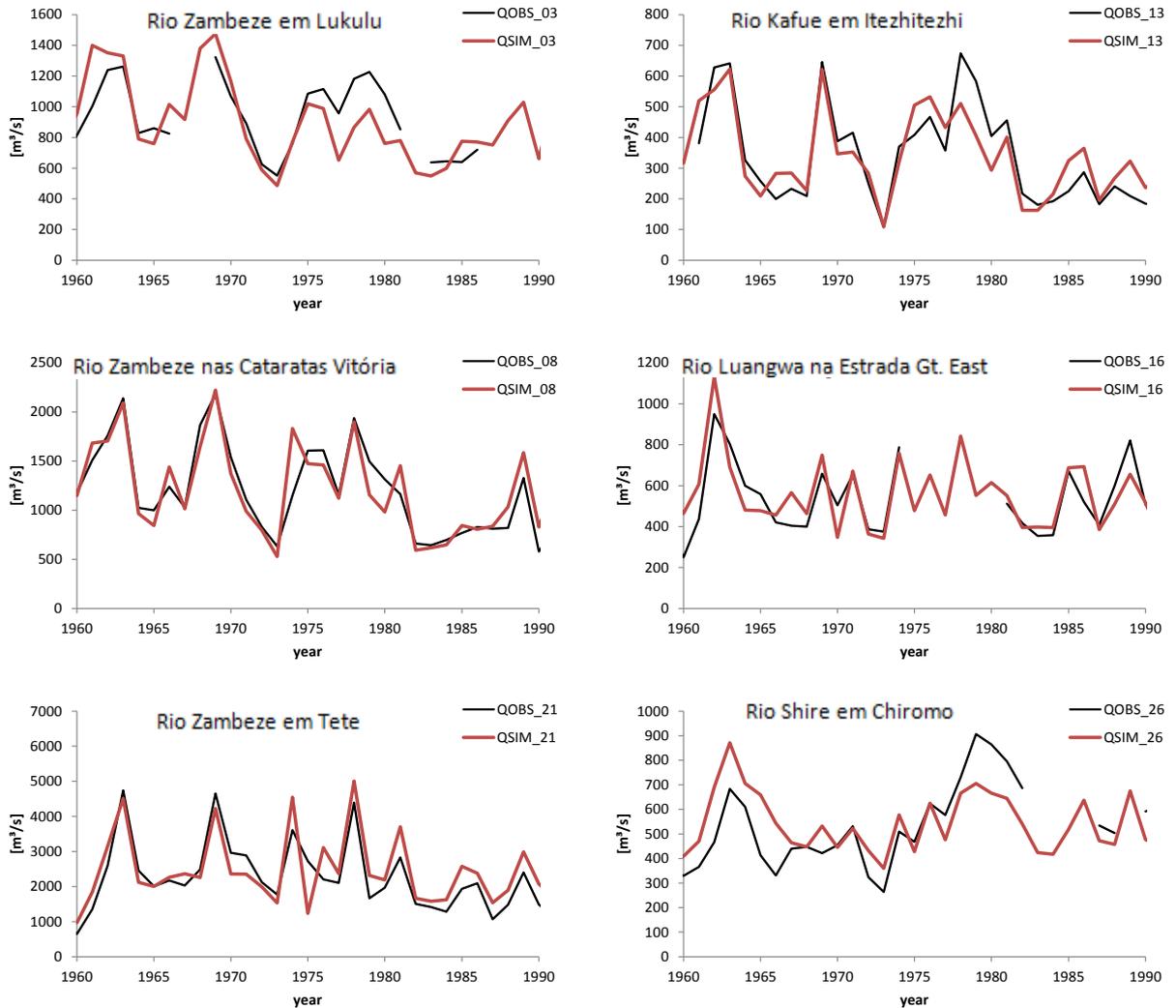


Figura 1-58: Descarga anual simulada (a vermelho) e observada (a preto) em localizações chave na bacia do Zambeze

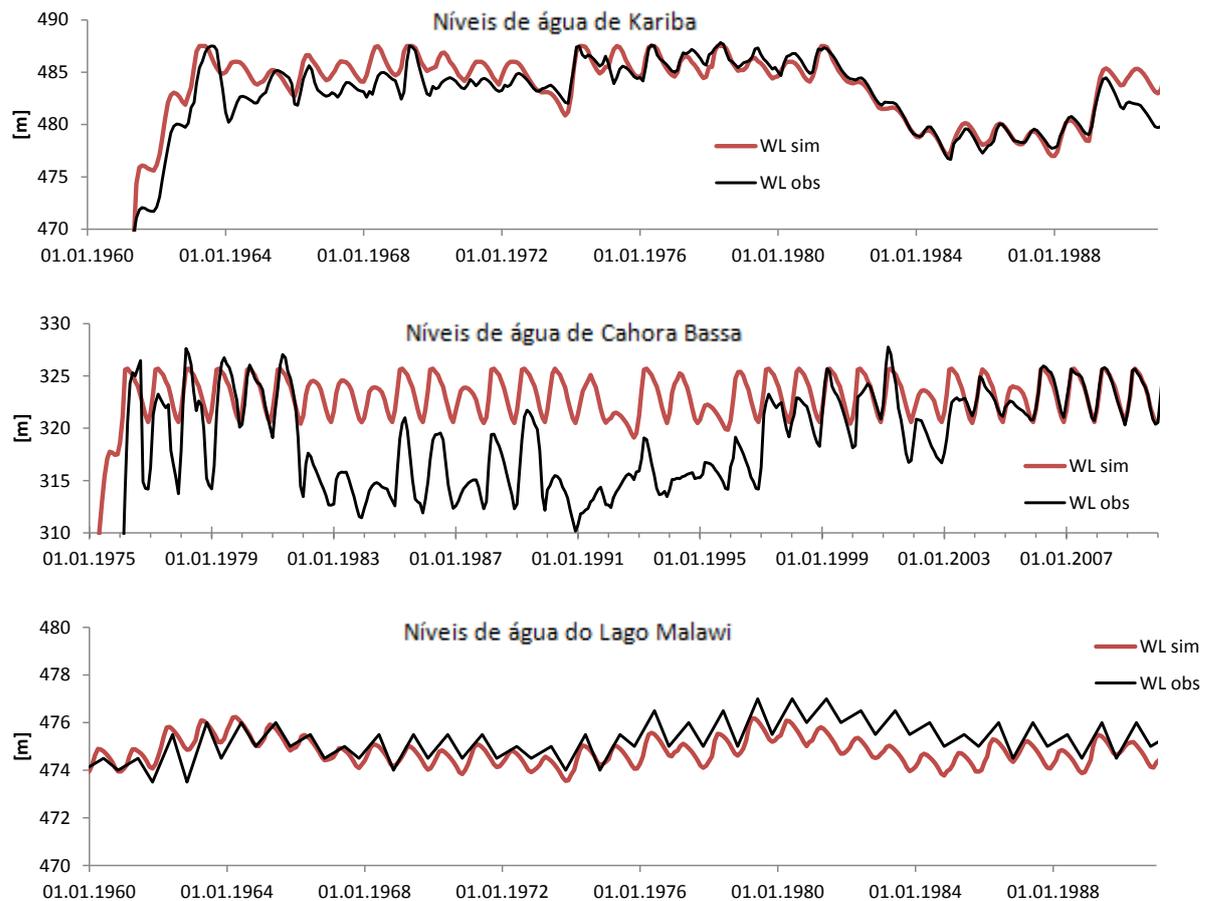


Figura 1-59: Níveis de água simulados e observados no reservatório de Kariba (no topo), Cahora Bassa (no meio) e Lago Malawi (parte inferior).

Os níveis de água observados de Cahora Bassa de 1981 a 1998 foram afectados por alterações na operação porque as linhas de transmissão do HPP foram destruídas. Os níveis de água observados do lago Malawi representam os níveis min/max manualmente digitalizados no relatório de Beilfuss (2001).

1.6.3 Interface do utilizador

O SAD utiliza a tecnologia de código aberto e funciona em navegadores, como o Google Chrome, Mozilla Firefox ou Internet Explorer. A interface do utilizador do SAD foi concebida com enfoque no mapa da bacia do Zambeze. O mapa está associado a uma base de dados dinâmica que gere todos os dados do SAD. Só se pode aceder ao SAD iniciando a sessão com um nome de utilizador e palavra-passe, de modo que a base de dados possa armazenar as definições actuais e as modificações de cada utilizador no SAD. Assim, se um utilizador termina a sessão e volta a iniciar numa fase posterior, todos os dados do utilizador da última sessão são restaurados. Evidentemente, vários utilizadores podem usar o SAD ao mesmo tempo.

Esta secção fornece uma descrição das características principais da interface do utilizador do SAD.

Vista principal e elementos do mapa

A *Figura 1.60* mostra a vista principal do SAD após o utilizador iniciar a sessão. O mapa da bacia do Zambeze como também os dados SIG e a topologia do modelo ilustrados no centro. No canto superior direito um painel oferece várias opções de visualização. O utilizador pode seleccionar uma das seguintes camadas base para visualizar como mapa de fundo.

- Open Street Map (mapa de rua aberta)
- Google (Terreno)
- Google (Ruas)
- Google (Híbrido)
- Google (Satélite)
- No Basemap (sem mapa de base)

Para a sobreposição existe cinco camadas SIG diferentes:

- Divisórias de sub-bacias
- Pontos de computação
- Rede de pontos de computação
- Rede hidrográfica
- Rede hidrográfica (detalhada)

No canto superior esquerdo do mapa existe botões de zooms e movimentos giratórios para navegação no mapa. Alternativamente, o utilizador pode usar o *mouse* para navegar. Ao girar em torno do mapa com o *mouse*, as coordenadas do cursor são visualizadas em latitude/longitude no canto inferior direito do mapa.

Consoante o nível de zoom, a camada de base apresenta detalhes diferentes (desde o nível continental ao de mapa de rua). As *Figuras 1.61 a 1.63* mostram exemplos de camadas de base no SAD para o Rio Zambeze e a confluência do Rio Revubue perto de Tete, Moçambique. Encontram-se também visualizados os pontos de computação do modelo e a camada SIG da rede hidrográfica.

Os elementos do modelo de balanço hídrico (WBM) são visualizados como sub-bacias (ver a *Figura 1.60*) e os elementos do modelo de distribuição de água (WAM) são visualizados como pontos de computação (pontos fluviais, reservatórios não controlados, reservatórios controlados) e rede de pontos de computação (*Figura 1.64*).

A rede hidrográfica uma camada SIG constituída por 2259 segmentos de rios (6718 segmentos referentes a camada SIG da rede hidrográfica). Para cada segmento, a área de captação a montante foi pré-calculada no SIG e está disponível para consulta no SAD através de um clique no segmento de rio (*Figura 1.65*). A camada SIG da rede hidrográfica inclui todos os rios com áreas de captação superiores a 10.000 km². As camadas SIG da rede hidrográfica detalhadas incluem todos os rios com áreas de captação superiores a 1000 km².

No lado esquerdo do mapa existe uma série de módulos diferentes que oferecem ao utilizador várias opções para controlar o SAD. Encontram-se disponíveis os seguintes módulos:

- Climate scenario (Cenário climático)
- Development scenario (Cenário de desenvolvimento)
- Run (Execução)
- Analysis (Análise)
- Help (Ajuda)

As secções a seguir descrevem estes módulos.

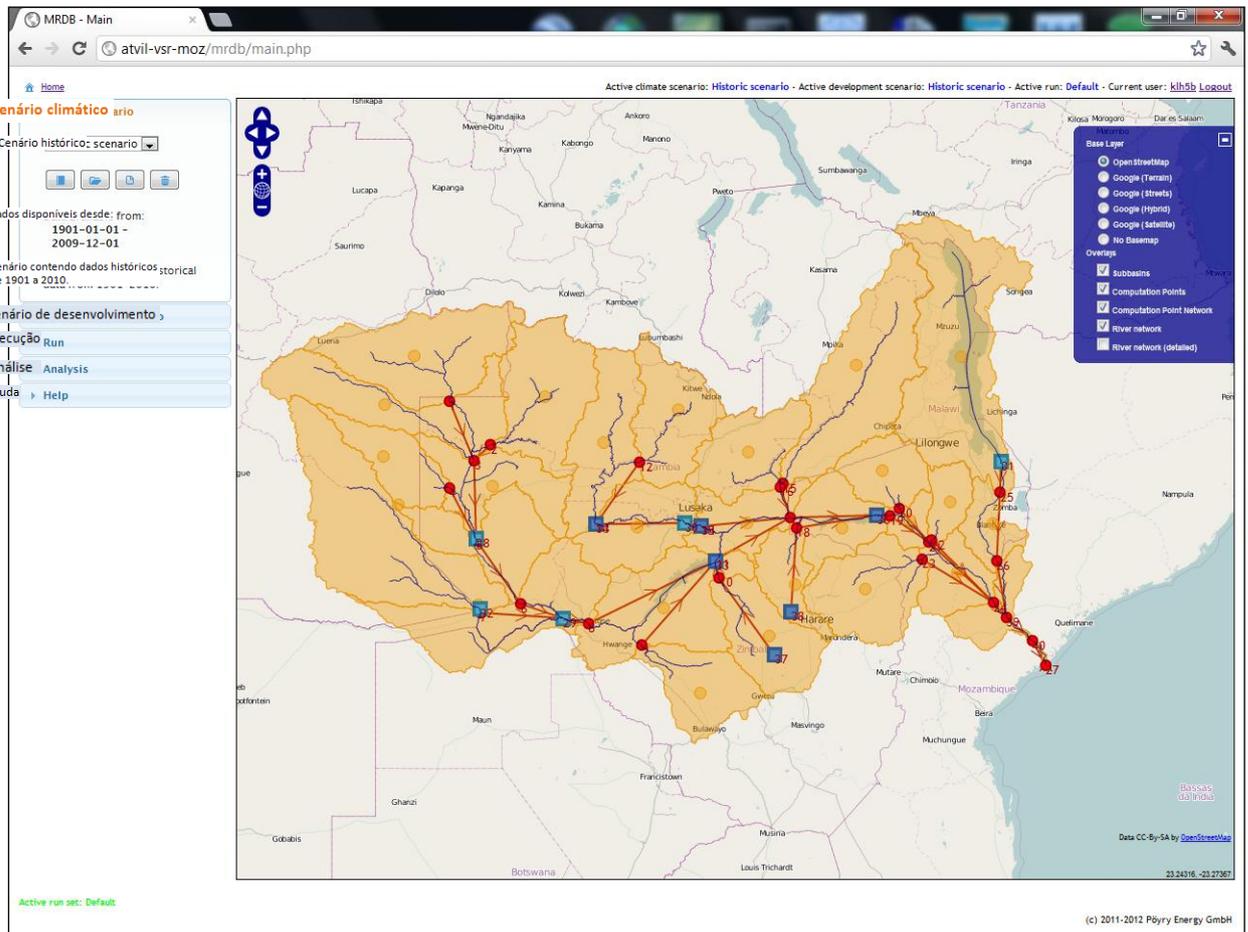


Figura 1-60: Vista principal do SAD após início da sessão

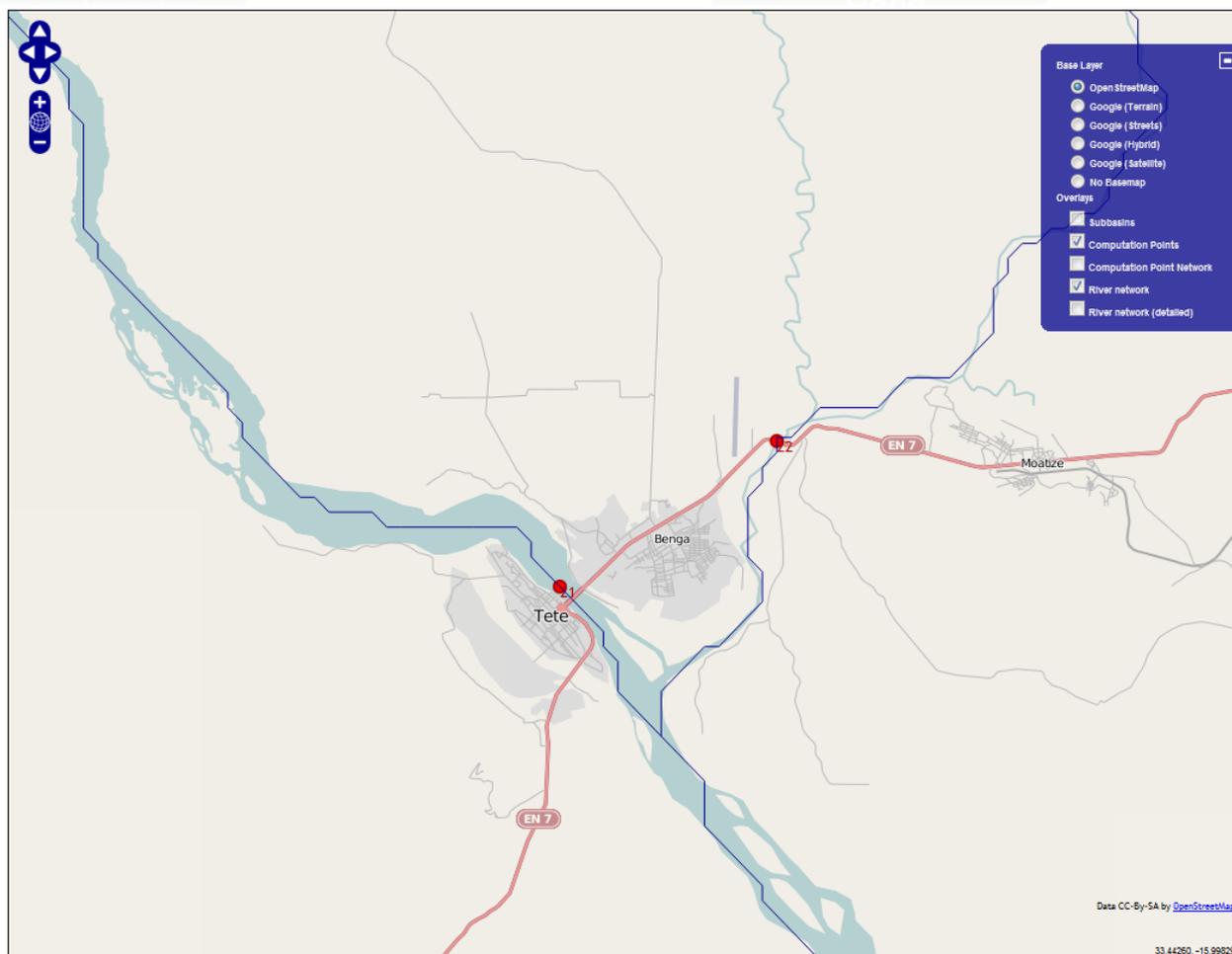


Figura 1-61: Exemplo de Open Street Map visualizado como camada de base no SAD. Rio Zambeze e a confluência do Rio Revubue perto de Tete, Moçambique.

A vermelho: pontos de computação. A azul: rede hidrográfica

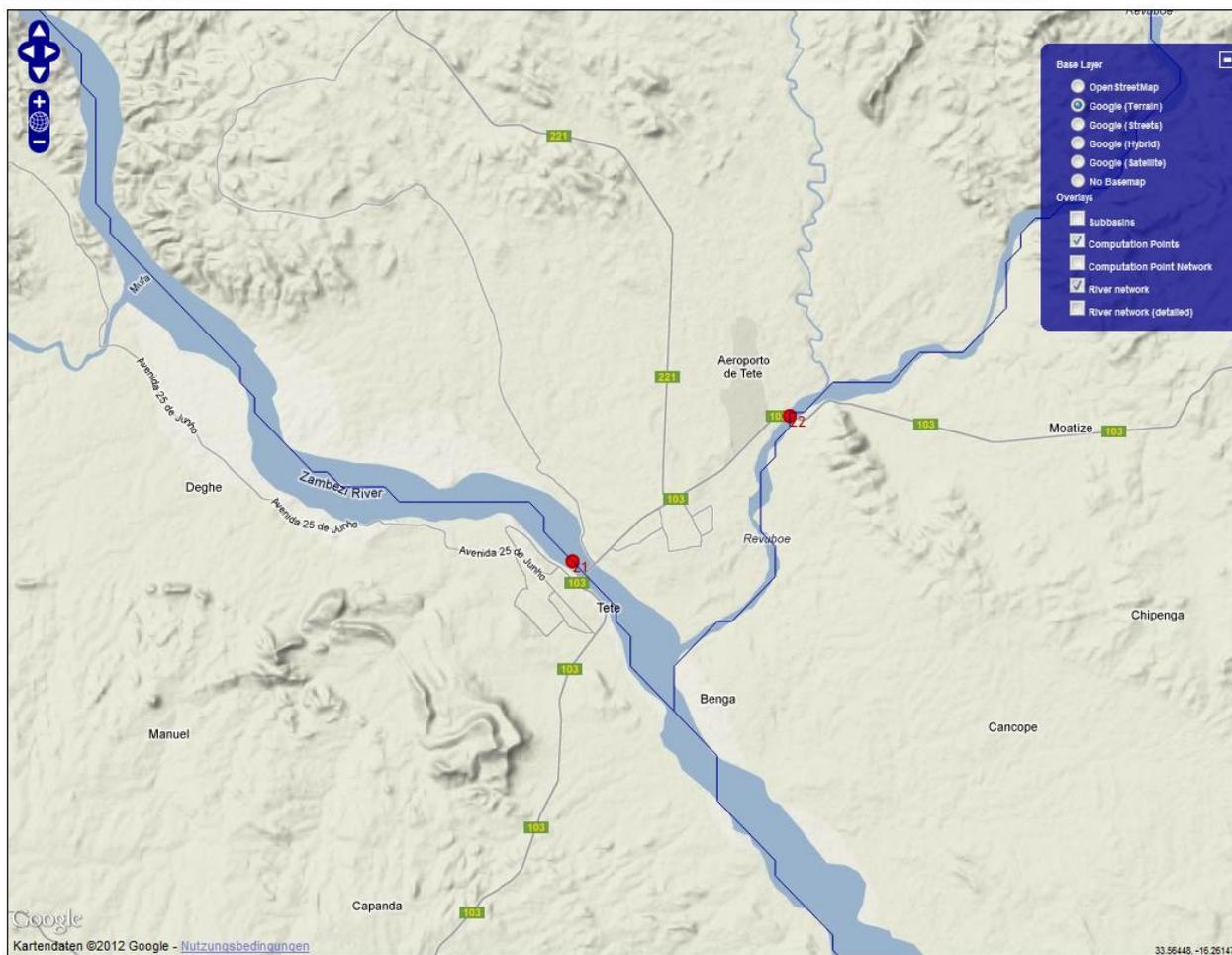


Figura 1-62: Exemplo de Google (Terreno) visualizado como camada de base no SAD. Rio Zambeze e a confluência do Rio Revuboe perto de Tete, Moçambique. A vermelho: pontos de computação. A azul: rede hidrográfica.



Figura 1-63: Exemplo de Google (Satélite) visualizado como camada de base no SAD. Rio Zambeze e a confluência do Rio Revubue perto de Tete, Moçambique.

A vermelho: pontos de computação. A azul: rede hidrográfica

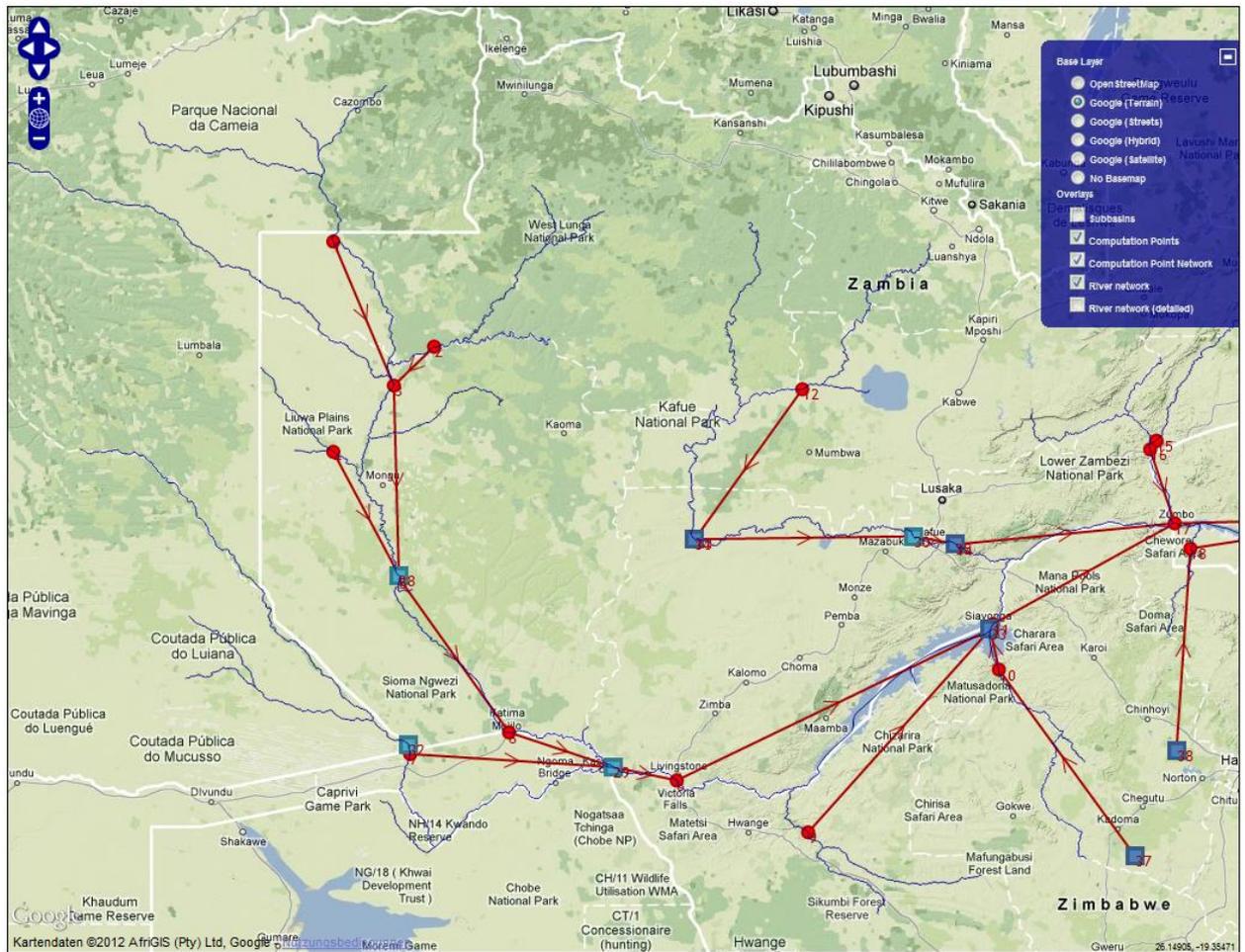


Figura 1-64: Elementos do módulo de distribuição de água (WAM) visualizado no SAD para a parte superior da bacia do Zambeze.

Círculos vermelhos: pontos fluviais. Quadrados azuis-claros: reservatórios não controlados. Quadrados azuis-escuros: reservatórios controlados. Linhas vermelhas: rede de pontos de computação.



Figura 1-65: Consulta da área de captação a montante a partir da camada SIG da rede hidrográfica no SAD. Exemplo de um segmento de rio a jusante do Rio Luena em Moçambique

Módulo de cenário climático

A Figura 1.66 mostra a interface do utilizador para controlar o módulo de cenário de mudança climática do SAD. O cenário climático activo é visualizado no topo da lista suspensa. Aqui, os outros cenários climáticos já existentes podem ser seleccionados:

- Cenário histórico: contém dados observados 1950-2005 (1901-2009)
- CNCM3: contém dados do modelo climático CNCM3/CNRM 1960-2100
- ECHAM: contém dados do modelo climático ECHAM 1960-2100
- IPSL: contém dados do modelo climático IPSL 1960-2100
- Definido pelo utilizador: quaisquer outros cenários definidos pelo utilizador

O cenário histórico contém dados de 1901-2009, mas devido a baixa cobertura de estações (ver Figura 1.9) recomenda-se a execução de simulações históricas apenas para o período 1950-2005

Estão disponíveis quatro acções para o utilizador pela via de botões:

- botão “Edit properties” (editar propriedades): o nome e a descrição do cenário podem ser editados;
- botão “Import subbasin data” (importar dados de sub-bacias): os dados externos podem ser importados para o SAD em formato csv format (disponível no Excel, por exemplo);

- botão “Create new climate scenario” (criar novo cenário climático): um novo cenário é criado a partir do actual;
- botão “Delete climate scenario” (eliminar cenário climático): os cenários definidos pelo utilizador podem ser eliminados, mas não os quatro cenários pré-definidos.

Em baixo destes botões de acção a disponibilidade de dados do actual cenário de mudança climática é resumida e uma descrição do cenário é ilustrada.

Para consultar os dados do cenário climático (precipitação, temperatura do ar) o utilizador tem de clicar na sub-bacia de interesse. A visualização de dados irá se abrir num novo separador (ver o módulo “Analysis”)

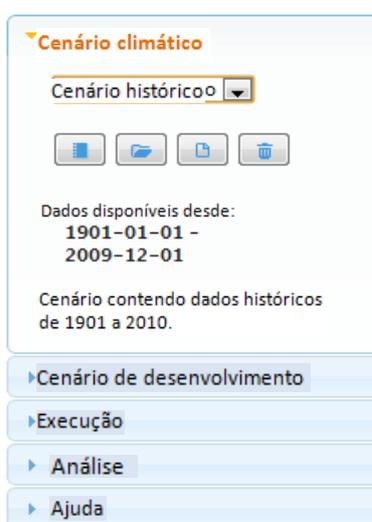


Figura 1-66: Módulo do cenário climático do SAD

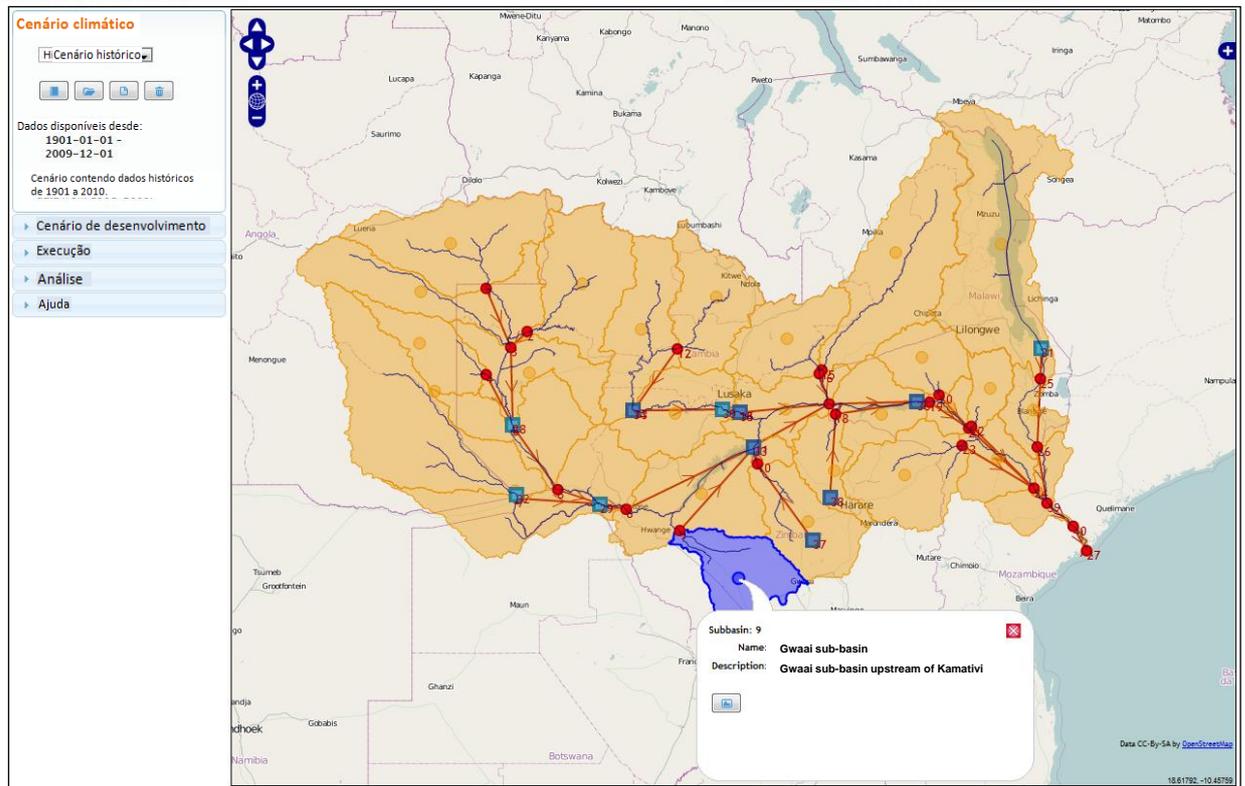


Figura 1-67: Consulta de dados do cenário climático através de um clique nas sub-bacias. A visualização de dados abre numa nova janela.

Módulo de desenvolvimento de cenários

Este módulo oferece ao utilizador a possibilidade de especificar o cenário de desenvolvimento, incluindo:

- novos projectos (barragens);
- regras de operação;
- retiradas de água (irrigação)

A Figura 1.68 mostra a interface do utilizador para controlar o módulo de desenvolvimento de cenário do SAD. O cenário de desenvolvimento active é visualizado no topo da lista suspensa. Outros cenários de desenvolvimento já existentes podem ser seleccionados.

Quatro acções encontram-se disponíveis por via de botões:

- botão “Edit properties” (editar propriedades): o nome e a descrição do cenário podem ser editados;
- botão “Create new climate scenario” (criar novo cenário climático): um novo cenário é criado a partir do actual;
- botão “Delete climate scenario” (eliminar cenário climático): os cenários definidos pelo utilizador podem ser eliminados, mas não os quatro cenários pré-definidos;
- botão “Refresh computation point network” (refrescar a rede de pontos de computação): actualiza a visualização durante a edição da topologia da rede de pontos de computação.

Em baixo destes botões de acção apresenta-se uma descrição do cenário.

Ao clicar nos elementos visualizados no mapa, várias opções tornam-se disponíveis, dependendo do elemento.

Ao clicar nas sub-bacias, os parâmetros do modelo de balanço hídrico (WBM) podem ser editados (*Figura 1.69*). Aqui, a permissão para tais edições é restrita aos utilizadores com direitos de administrador, mas não aos utilizadores normais.

Ao clicar na rede hidrográfica, pode-se adicionar novos pontos de computação. Após a adição de um novo ponto de computação o utilizador tem de actualizar a topologia de rede de pontos de computação por via das propriedades do novo ponto de computação e quaisquer pontos de computação a montante afectados. A topologia armazena os nº dos pontos de computação a jusante. Os novos pontos de computação podem representar pontos fluviais, reservatórios não controlados ou reservatórios controlados. Pontos fluviais podem ser inseridos na rede hidrográfica para a consulta de resultados de simulação nas localizações de interesse. Os novos reservatórios requerem a especificação de propriedades antes que o modelo possa ser executado. A *Figura 1.70* mostra um exemplo para a inserção de um novo ponto fluvial.

Um clique sobre os pontos de computação oferece ao utilizador a possibilidade de eliminar o ponto de computação (permitido apenas para pontos de computação adicionados pelo utilizador) ou editar os atributos do ponto de computação. Os atributos disponíveis dependem do tipo de ponto de computação (ponto fluvial, reservatório não controlado, reservatório controlado). A *Figura 1.71* mostra um exemplo do reservatório de Cahora Bassa. A localização geográfica, a localização da sub-bacia e a área total de captação a montante são automaticamente consultadas pelo SAD. No entanto, os atributos importantes a serem acedidos pelo utilizador são os seguintes:

- topologia (descarga para o ponto de computação a jusante);
- valores mensais de fluxos ambientais, desvios (retiradas de água), curva indicadora de elevação e níveis mínimos/máximos para a operação normal;
- curva de elevação-área-volume e a descarga desejada (a vazão pode ser definida para zero se não houver informação disponível). O número de registos da curva de elevação-área-volume pode ser seleccionado pelo utilizador.

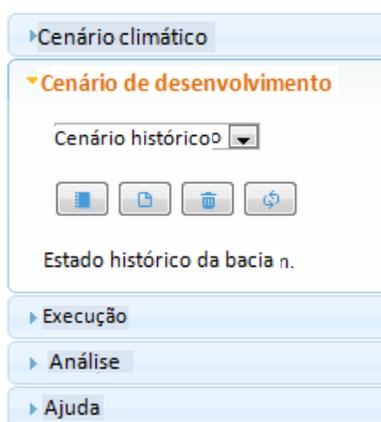


Figura 1-68: Módulo de desenvolvimento de cenário do SAD

Informação Parâmetros Zonas

Seleccionar a zona: 1

Classe de vegetação: [Ícone]

Peso da área: 72.6000 [Gravar]

Propriedades avançadas

Classe de vegetação class: 1

Expoente para o cálculo da geração do escoamento: 1.0000 Limiar para a redução da evapotranspiração: 0.5000 Capacidade de armazenamento do solo: 1270.000

Coefficiente de base de recessão de vazão: 1000.0000 Coeficiente de encaminhamento de recessão: 0.0000 Fr Divisão da separação de escoamento: 0.3130

Quantidade de humidade do solo: 0.5000 Vazão de base inicial: 0.0500 Armazenamento inicial no trecho do rio: 0.0000

[Gravar] [Save]

Valores mensais

	Jan	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Factor de correcção da precipitação	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Factor de correcção da temperatura	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Evapo-Transpiração mensal :	3.7000	3.6300	3.6800	3.9500	3.9500	3.7200	4.0300	4.9200	5.8900	5.5500	4.2200	3.6800

[Gravar]

Figura 1-69: Interface para utilizadores com permissão de administrador para a edição de parâmetros de sub-bacias do modelo de balanço hídrico (WBM)

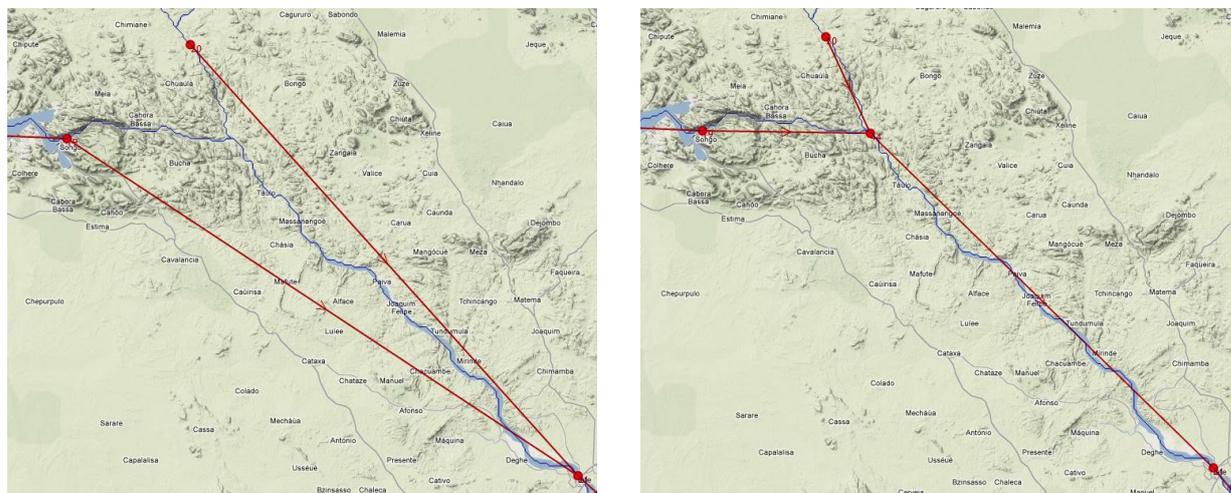


Figura 1-70: Afinação da rede de pontos de computação no SAD. Exemplo de inserção de novo ponto de computação após confluência do Rio Capoche com Rio Zambeze em baixo de Cahora Bassa, em Moçambique.

A esquerda: rede original de pontos de computação. A direita: rede corrigida de pontos de computação

Informação Propriedades Valores Mensais Curva de volume-área-elevação Informação geográfica

ID: 3 Nome: ID_36 Tipo: Controlled reservoir
 sub-bacia: 19
 Descrição: Cahora Bassa
 Gravar

Informação Propriedades Valores Mensais Curva de volume-área-elevação Informação geográfica

Descarregada em: 19
 Ano de início: 1975 Área de captação a montante: 1064412.80 R Ajuste de descarga: 1.0000
 Gravar

Informação Propriedades Valores Mensais Curva de volume-área-elevação Informação geográfica

	Jan	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Vazão ambiental:	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Desvios:	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Elevação da curva-guia:	321.7000	323.6000	325.6000	325.7000	325.4000	325.1000	324.5000	324.0000	323.1000	322.2000	321.3000	320.6000
Elevação mínima para operação normal:	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000	295.0000
Elevação máxima para operação normal:	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000	330.0000

Gravar

Informação Propriedades Valores Mensais Curva de volume-área-elevação Informação geográfica

Tamanho de VAEC: 10 Actualizar

Índice	Volume	Área	Elevação	Descarga
1	0.0000	0.0000	147.0000	0
2	31761.500	838.0000	295.0000	1250
3	36506.500	1065.0000	300.0000	1250
4	42450.500	1317.0000	305.0000	1250
5	49724.500	1597.0000	310.0000	1250
6	58460.487	1902.0000	315.0000	1250
7	68787.487	2233.0000	320.0000	1250
8	83465.487	2665.0000	326.0000	1250
9	94738.487	2974.0000	330.0000	1250
10	97752.487	3054.0000	331.0000	1250

Gravar

Informação Propriedades Valores Mensais Curva de volume-área-elevação Informação geográfica

Latitude: 32.4062208284 Longitude: -15.572929
 Gravar

Figura 1-71: Especificação de atributos para reservatórios controlados no SAD. Exemplo do reservatório de Cahora Bassa.

Módulo de execução (run module)

Este módulo oferece ao utilizador a possibilidade de editar as especificações de um modelo de execução "run". A interface principal mostra a Figura 1.72. A execução activa é visualizada no menu suspenso no topo. Os botões dispõem das seguintes opções:

- botão "Start run": executa o modelo de execução;
- botão "Edit properties": definição de propriedades de execução;
- botão "Create new run": permite criar uma nova execução a partir da actual;
- botão "Delete run": elimina a execução actual da base de dados.

Quando se faz uma execução com o botão “Start run”, o cenário climático activo, o cenário de desenvolvimento activo e as definições da execução activa são usados. Esta informação também é resumida no topo da visualização em cima do mapa. O estado da execução é visualizado no canto inferior esquerdo (seja “running” (a executar) ou “finished” (concluído)). Após a conclusão de uma execução (com geralmente poucos segundos) os resultados de simulação são armazenados na base de dados do SAD e podem ser consultados pelo utilizador através do mapa, clicando nas sub-bacias ou nos pontos de computação (ver o módulo “Analysis”).

As propriedades de uma execução incluem (ver também a *Figura 1.73*):

- informação geral (nome e descrição);
- data de início e do fim;
- factores de correcção para a precipitação e temperatura.

Os factores de correcção são usados pelo SAD para manipular dados do clima durante a execução da simulação, onde os factores mensais de correcção são usados na multiplicação com a precipitação e na adição com a temperatura. Assim, os factores de correcção oferecem um meio rápido e fácil de análise de sensibilidade do cenário de mudança climática. As perguntas como “o que acontece se a precipitação cair em 10% e a temperatura subir em 3 °C em comparação com o clima histórico?” podem ser respondidas. Além disso, os dados do modelo climático também podem ser manipulados para responder a perguntas como “o que acontece se o aquecimento for 1 °C maior que o projectado pelo modelo climático XY?” Evidentemente, se os padrões espaço-temporais de cenários climáticos forem necessários, então têm que ser fornecidos através do módulo de cenário de climático do SAD.

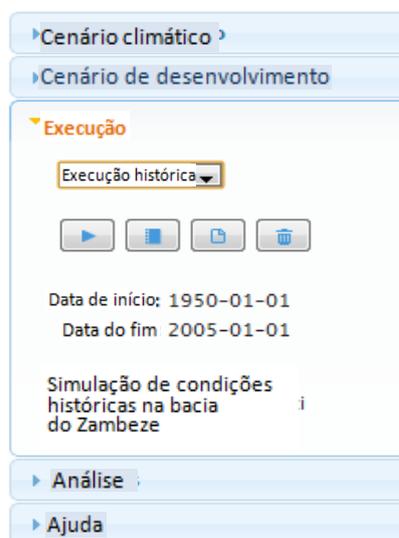


Figura 1-72: Módulo de execução do SAD

Informação Propriedades Factores de correcção

Name: Execução histórica

Description: Simulação de condições históricas na bacia do Zambeze

Gravar

Informação Propriedades Factores de correcção

Data de início: 1950-01-01

Data do fim: 2005-01-01 Gravar

Informação Propriedades Factores de correcção

	Jan	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Factores de correcção da precipitação:	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Factor de correcção da temperatura:	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Gravar

Figura 1-73: Especificação dos atributos de execução no SAD

Módulo de análise

Este módulo fornece uma análise abrangente dos dados do SAD. Existe várias dimensões relacionadas com a análise, como se apresenta abaixo:

- 27 sub-bacias;
- 40+ pontos de computação;
- diferentes modelos de execução (cenário climático, cenário de desenvolvimento, período de simulação);
- grande lista de variáveis de modelos.

Para uma análise e comparação eficazes desses dados multi-dimensionais, foi concebida uma ferramenta de análise para o SAD, que abre num novo separador. Existe diferentes formas de aceder a ferramenta de análise. Se for acedida através do módulo de análise, então o utilizador tem de seleccionar a resolução espacial dos dados a ser analisada a partir da lista suspensa (*Figura 1.74*). Existe quatro resoluções espaciais diferentes:

- pontos de computação: variáveis simuladas do modelo de distribuição de água (WAM);
- dados locais de entrada da sub-bacia: dados de entrada originais do cenário climático;
- dados locais de saída da sub-bacia: dados de entrada manipulados do cenário climático (factores de correcção) e variáveis simuladas do modelo de balanço hídrico (WBM);
- dados totais de saída da sub-bacia: mesmas variáveis que as acima, porém agregadas em toda a área de captação a montante.

Quando a ferramenta de análise for acedida clicando nos elementos do map, as variáveis são directamente visualizadas em relação ao elemento clicado (ponto de computação, sub-bacia local ou sub-bacia total) para o cenário activo (clima ou execução). Se a ferramenta de análise for acedida através do módulo de análise, o utilizador adiciona dados para a visualização obedecendo a seguinte hierarquia (área de visualização à esquerda em no painel "Series", ver por exemplo *Figura 1.75*):

1. Select model run (seleccionar o modelo de execução);
2. Select spatial location (seleccionar a localização espacial) (ponto de computação ou sub-bacia);
3. Select variable (seleccionar a variável).

Mais variações podem ser posteriormente adicionadas para modelos de execução diferentes, locais diferentes ou tipos diferentes de variáveis. Assim, a ferramenta de análise permite comparações eficazes, incluindo:

- comparação a montante/a jusante;
- comparação de diferentes execuções (cenários);
- comparação de diferentes variáveis (por exemplo, escoamento vs. precipitação).

Os dados seleccionados podem ser visualizados em diferentes modos, especificando a resolução temporal e o tipo de diagrama de implantação sob a opção “Settings” (definições) no lado esquerdo da visualização *Figura 1.75*:

- resolução temporal: mensal ou anual;
- tipo de diagrama: séries temporais, média ou curva de caudais classificados.

Assim, existe seis combinações possíveis para a visualização:

- séries temporais mensais;
- séries temporais anuais;
- média mensal;
- média anual;
- curva de caudais classificados mensal;
- curva de caudais classificados anual.

Diagramas de séries temporais são usados para analisar a dinâmica temporal e possíveis tendências. O *mouse* pode ser usado para fazer o zoom-in de subperíodos. Isto é especialmente útil na análise dos resultados de simulação períodos temporais longos. Os diagramas de média são usados para representar sazonalidade (mensal) ou para calcular médias a longo prazo. Diagramas de curvas de caudais classificados apresentam a distribuição completa dos dados, de modo que os valores mínimos, máximos, médios e percentuais (por exemplo, a percentagem do limiar de tempo excedido) estejam disponíveis para o utilizador. Isto é útil quando o enfoque está, por exemplo, para a análise de secas. Algumas informações sobre a situação geral de cheias grandes rios podem também ser obtidas.

As *Figuras 1.75 a 1.78* mostram alguns exemplos de diagramas com a ferramenta de análise. Os dados dos diagramas podem ser exportados da tabela de pós-processamento (*Figura 1.79*), de modo que os dados possam ser analisados mais ainda em Excel, por exemplo.

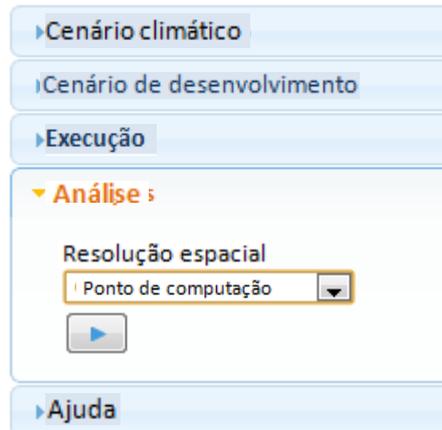


Figura 1-74: Módulo de análise do SAD

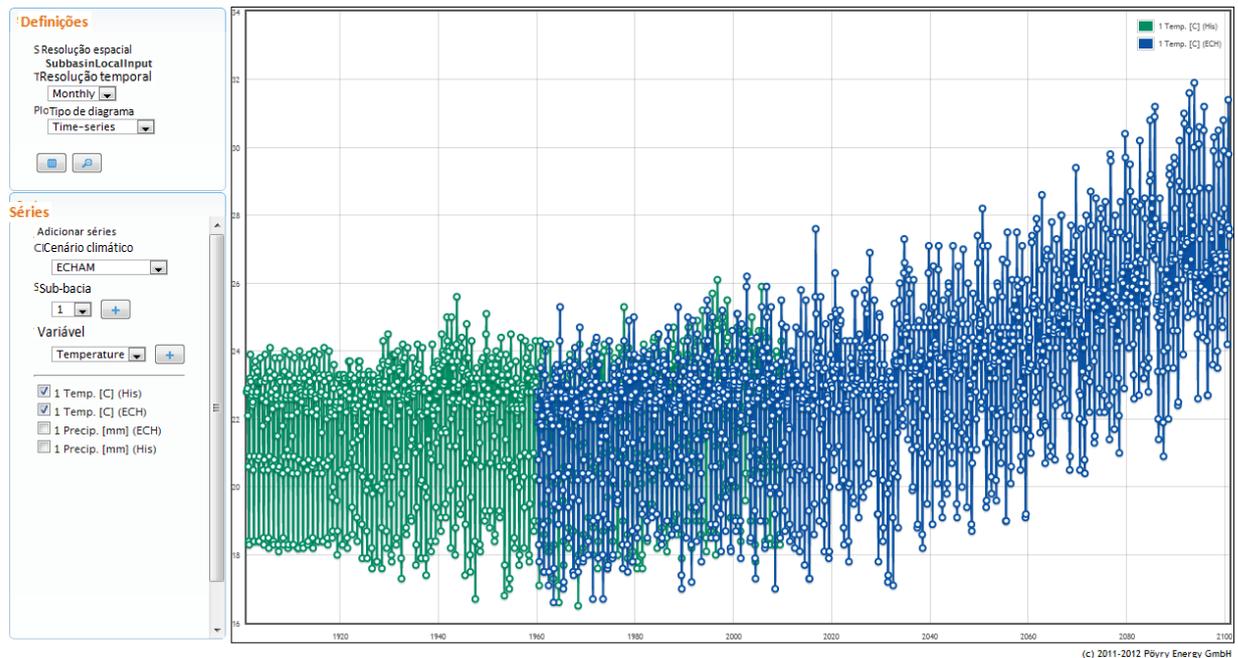


Figura 1-75: Ferramenta de análise do SAD. Exemplo de series temporais de temperatura. Histórica (verde) e projectada (azul, modelo climático ECHAM)

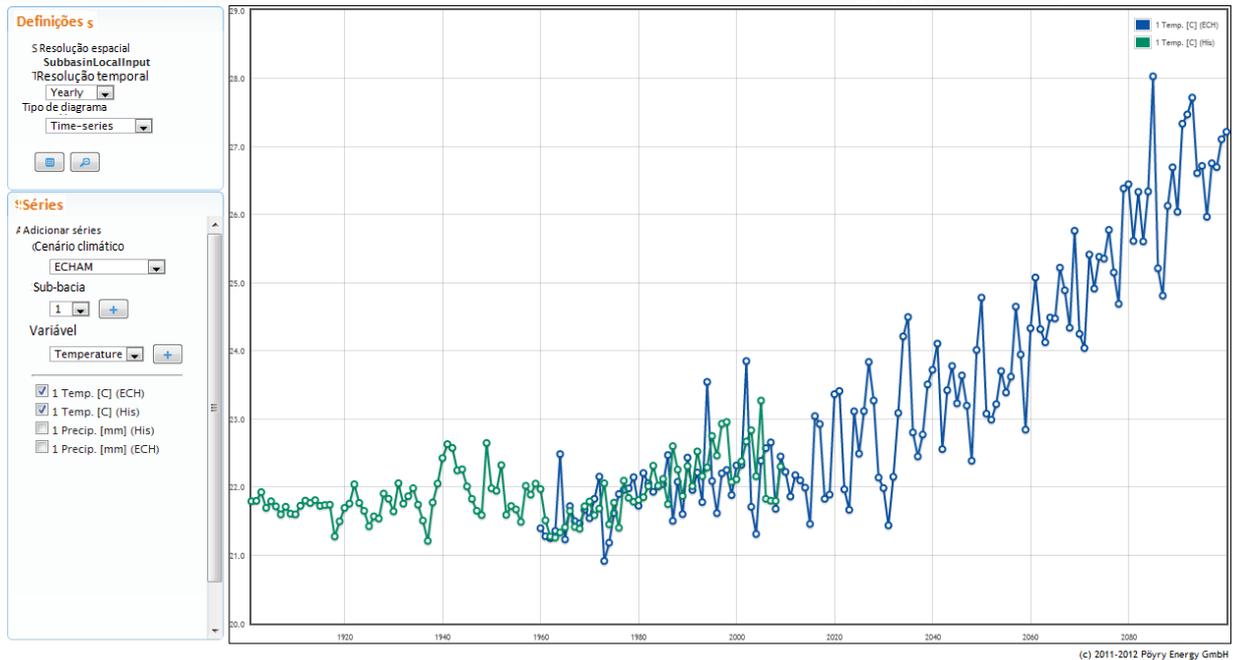


Figura 1-76: Ferramenta de análise do SAD. Exemplo de séries temporais de temperatura. Histórica (verde) e projectada (azul, modelo climático ECHAM)

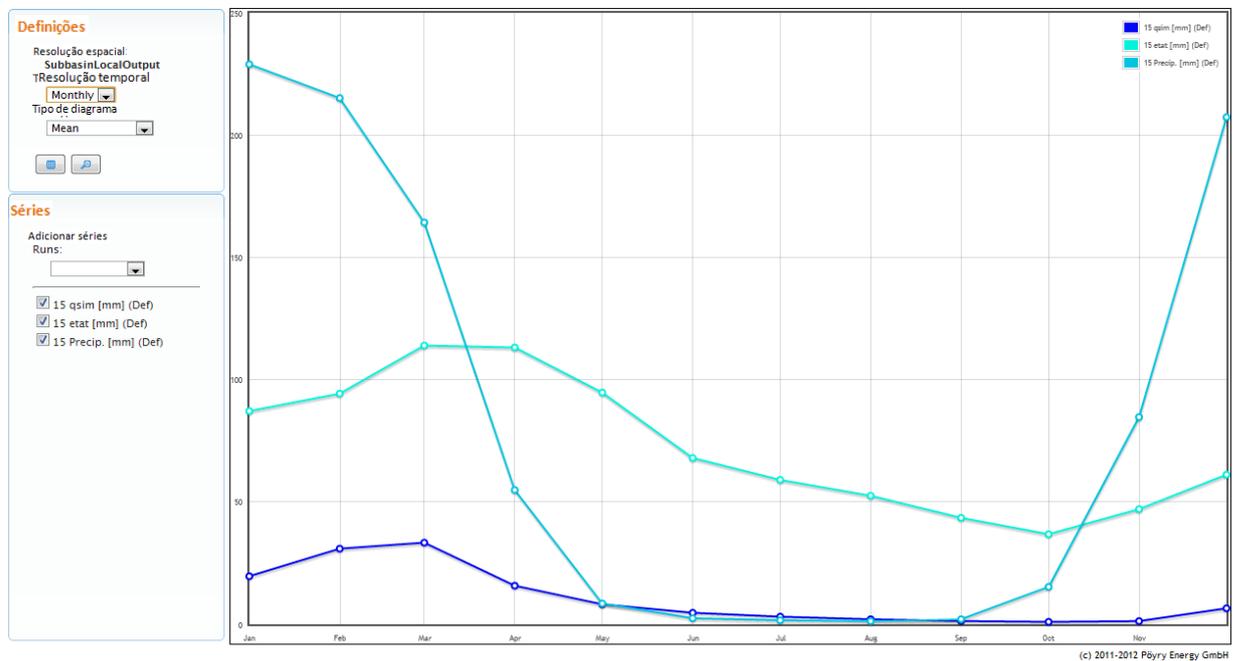


Figura 1-77: Ferramenta de análise do SAD. Exemplo de precipitação média mensal, evapotranspiração e escoamento

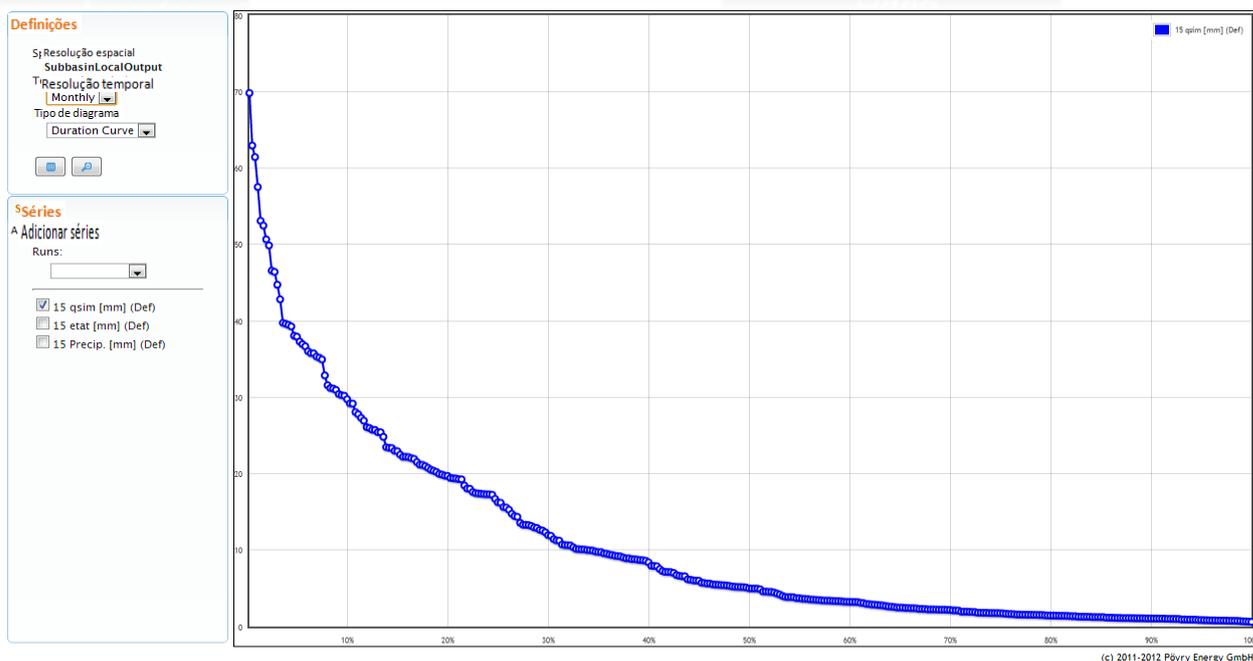


Figura 1-78: Ferramenta de análise do SAD. Exemplo de curva mensal de caudais classificados de escoamento

Date	15 qsim [mm] (Def)	15 etat [mm] (Def)	15 Precip. [mm] (Def)
1961-01-01	39.735	128.494	197.900
1961-02-01	49.868	112.102	202.300
1961-03-01	61.433	126.656	212.500
1961-04-01	26.082	132.647	64.000
1961-05-01	12.895	121.818	8.200
1961-06-01	7.141	86.427	3.000
1961-07-01	4.572	74.467	4.000
1961-08-01	2.863	64.187	1.500
1961-09-01	1.792	53.899	1.200
1961-10-01	1.278	43.123	12.500
1961-11-01	2.414	54.506	132.100
1961-12-01	17.303	75.485	306.800
1962-01-01	53.090	110.385	342.600
1962-02-01	62.934	112.676	246.300
1962-03-01	69.808	125.047	219.700
1962-04-01	31.133	131.124	71.000
1962-05-01	14.351	118.786	2.400
1962-06-01	7.923	89.733	1.100
1962-07-01	4.963	77.535	1.500
1962-08-01	3.110	69.270	1.800
1962-09-01	1.924	55.905	1.200
1962-10-01	1.386	45.561	15.500
1962-11-01	1.943	53.736	104.100
1962-12-01	9.741	68.208	238.500

Figura 1-79: Exemplo de tabela de exportação a partir da ferramenta de análise do SAD.

Módulo de ajuda (Help module)

Um manual (documento pdf) do utilizador *online* pode ser acedido através do módulo de ajuda. O manual do utilizador explica todos os aspectos dos SAD em detalhes, por forma a que também os utilizadores não-experientes possam usar o SAD.

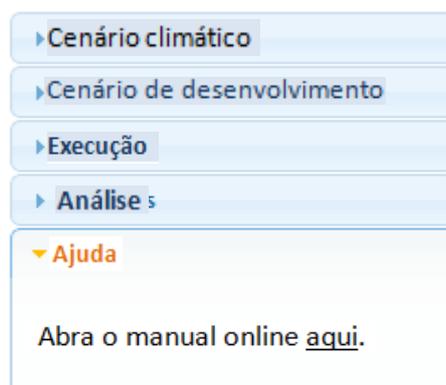


Figura 1-80: Módulo de ajuda do SAD

Módulo de administração

Os utilizadores com permissão de administrador podem abrir o módulo de administração, clicando sobre o nome do utilizador canto superior direito do ecrã. O módulo de administração oferece ferramentas básicas para a gestão de contas de utilizador (palavras-passe, permissões, etc.), como indicado na *Figura 1.81*. O administrador pode criar novos utilizadores e definir também cenários criados pelo utilizador (cenários climáticos, cenários de desenvolvimento e execuções) para “público”, de modo que os outros utilizadores possam continuar a trabalhar com esses cenários.

The screenshot displays four panels of the user management interface:

- Panel 1 (User Information):** Shows user details for 'Harald Kling' (ID: kih5b). It includes a language dropdown set to 'English' and a 'Definir língua' button.
- Panel 2 (Password Change):** Contains input fields for 'Palavra-passe antiga', 'Nova palavra-passe', and 'Nova palavra-passe (repeat)', along with an 'Alterar palavra-passe' button.
- Panel 3 (Scenario Status):** Lists active scenarios: 'Cenário climático activo: cenário histórico', 'Cenário de desenvolvimento activo: cenário histórico', and 'Execução activa: padrão'.
- Panel 4 (Permissions):** Features several checked checkboxes: 'Iniciar execução', 'Editar cenário climático', 'Editar cenário de desenvolvimento', 'Analisar', and 'É admin'. A 'Gravar' button is present. Below this, there are controls for editing or deleting the current user and a form to create a new user.

Figura 1-81: Ferramentas de administrador para a gestão de contas de utilizadores no SAD

1.6.4 Exemplos de aplicação

O SAD pode ser usado para diversos tipos de análise, como resumido no esquema da *Figura 1.82*. Isto permite que o utilizador faça perguntas hipotéticas tais como “o que acontece se o clima mudar?” ou “o que acontece se os projectos de barragens ou de irrigação forem desenvolvidos?” É também possível ver o impacto de uma mudança nas regras de operação do reservatório. Para além destas análises de cenário, o SAD também oferece uma análise abrangente do estado actual da hidrologia da bacia. Por isso, o balanço hídrico da bacia inteira ou de sub-bacias pode ser avaliado.

Esta secção apresenta alguns exemplos de aplicação do SAD. Análises semelhantes poderiam ser feitas para diferentes períodos temporais, sub-bacias, cenários climáticos ou cenários de desenvolvimento. Os exemplos incluem:

- estudo sobre o balanço hídrico;
- análise do influxo/efluxo de reservatórios e lagos;
- estudo sobre o impacto de mudanças climáticas;

- avaliação do impacto de desenvolvimento de irrigação.

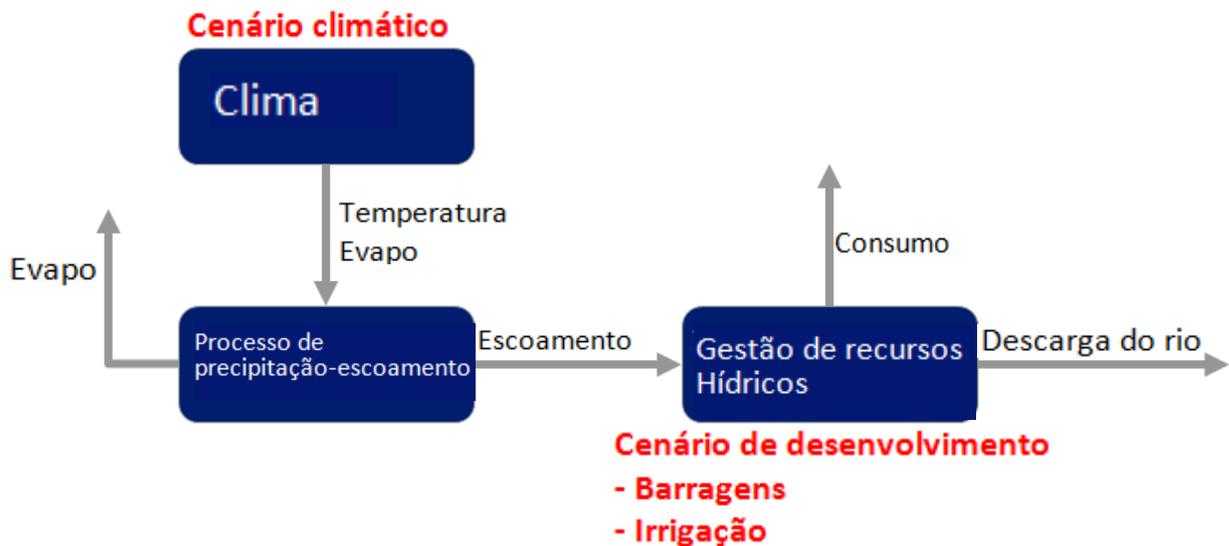


Figura 1-82: Conceito geral de análise de cenário com o SAD

Estudo sobre o balanço hídrico

Este exemplo estuda o balanço hídrico do período 1961-1990 na parte superior do Rio Luangwa. O balanço hídrico é uma informação importante sobre a hidrologia da bacia hidrográfica. A equação básica de balanço hídrico é definida da seguinte maneira:

$$\text{Precip} = \text{Runoff} + \text{Evapo} + \Delta S$$

onde

Precip é a precipitação [mm]

Runoff é a profundidade do escoamento [mm]

Evapo é a evapotranspiração real [mm]

S é a variação no armazenamento (mudança da humidade do solo e água subterrânea) [mm]

A Figura 1.84 mostra o balanço hídrico sazonal do Rio Luangwa simulado pelo SAD. A precipitação ocorre entre Novembro e Março e é quase nula entre Maio e Setembro. Durante o período chuvoso, a variação no armazenamento é positiva, o que significa que a humidade do solo e o armazenamento da água subterrânea são repostos. Durante a estação seca, a variação no armazenamento é negativa devido à evapotranspiração, que provoca a secagem dos solos. O escoamento é o menor elemento do balanço hídrico e é quase nulo durante a estação seca. Em Novembro e Dezembro, a precipitação é principalmente armazenada (variação positiva no armazenamento) e o escoamento só se torna significativo entre Janeiro e Abril.

O balanço hídrico médio anual da bacia do Luangwa é obtido pela agregação dos valores mensais. A precipitação média anual é calculada a 974 mm, dos quais 854 mm perdem-se na atmosfera por via da evapotranspiração e apenas 122 mm constituem escoamento. Isto corresponde a um coeficiente de escoamento de 13 %. A variação anual de armazenamento é insignificante (-2 mm).

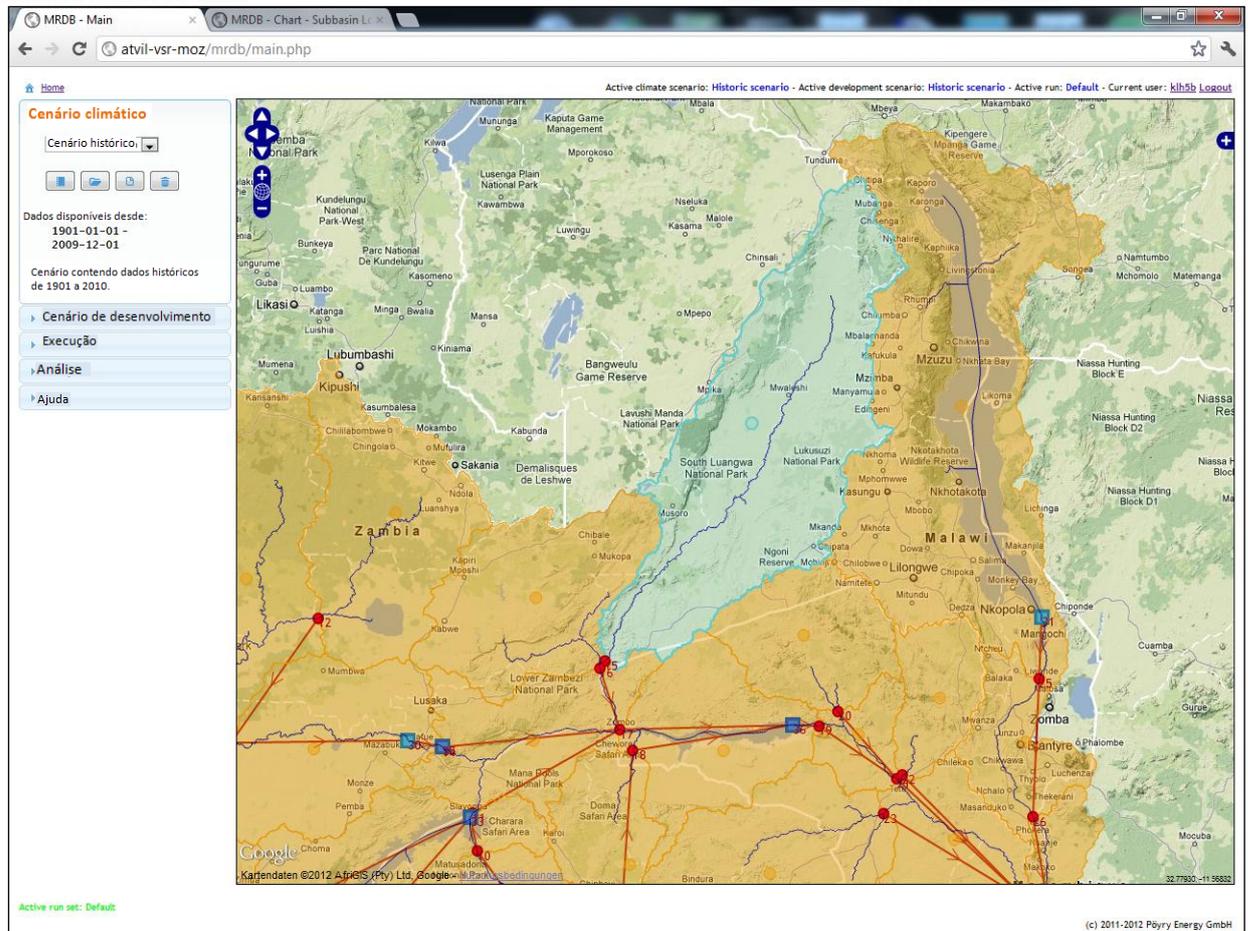


Figura 1-83: Parte superior da bacia do Rio Luangwa no SAD

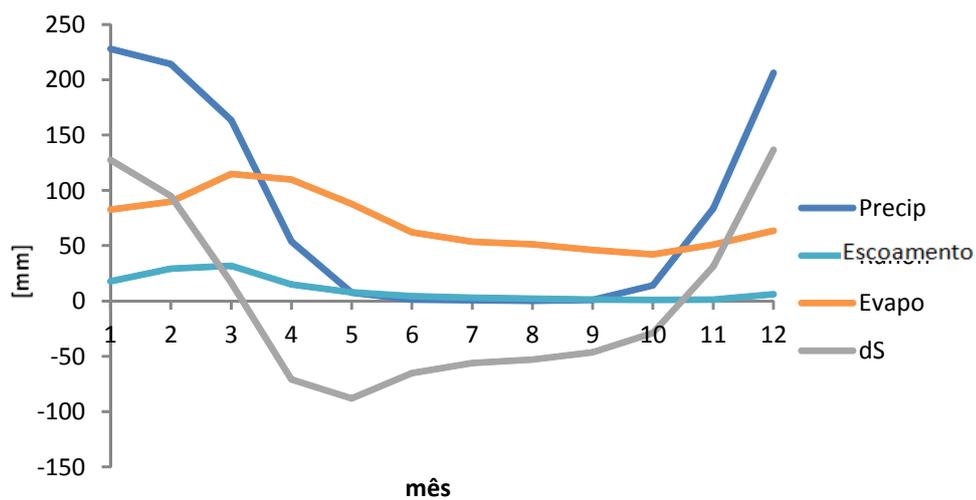


Figura 1-84: Balance hídrico sazonal da parte superior do Rio Luangwa. Período 1961-1990

Análise do influxo/efluxo de reservatórios e lagos

O SAD oferece ao utilizador a possibilidade de consultar o influxo e a descarga dos reservatórios, que incluem:

- influxo a montante (descarga nos pontos de computação a montante);
- influxo lateral (escoamento a partir de subcaptações intermediárias);
- precipitação sobre a massa de água;
- evaporação a partir da massa de água;
- desvios para reservatórios; (consumo líquido))
- efluxo (descarga)

Como exemplo, o influxo e a descarga do reservatório de Cahora Bassa são analisados para o período de 1980 a 1990. No actual SAD, existe dois pontos de computação a montante (PC 17 na confluência do Zambeze com Luangwa a jusante e PC 18 no Rio Panhane, ver *Figura 1.85*) e não houve desvios durante 1980-1990. As médias de influxo de descarga de Cahora Bassa simuladas pelo SAD referentes a 1980-1990 apresentadas abaixo:

- 1869 m³/s de influxo a montante;
- 32 m³/s de influxo lateral;
- 64 m³/s de precipitação sobre a massa de água;
- 122 m³/s de evaporação a partir da massa de água;
- 1835 m³/s de descarga.

Estes números são completamente diferentes quando, por exemplo, se analisa o maior Lago Malawi (*Figura 1.86*). Aqui, a precipitação sobre a massa de água e a evaporação a partir da massa de água são maiores do que o influxo lateral e a descarga. Os fluxos médios de influxo e descarga do Lago Malawi simulados pelo SAD referentes a 1980-1990 são:

- 0 m³/s de influxo a montante (não existe sub-bacia a montante);
- 773 m³/s de influxo lateral;
- 1132 m³/s de precipitação sobre a massa de água;
- 1577 m³/s de evaporação a partir da massa de água;
- 416 m³/s de descarga.

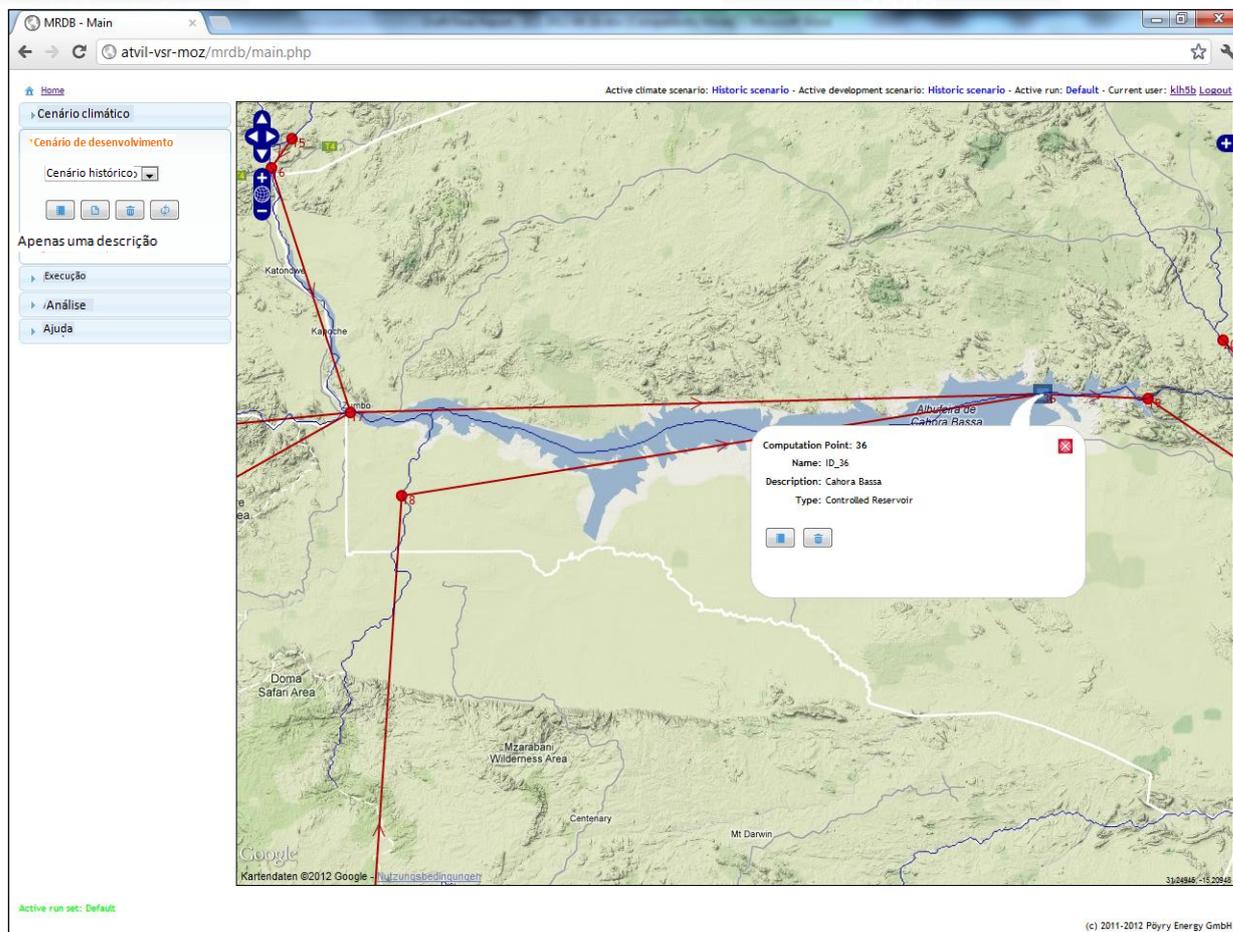


Figura 1-85: Reservatório de Cahora Bassa no SAD

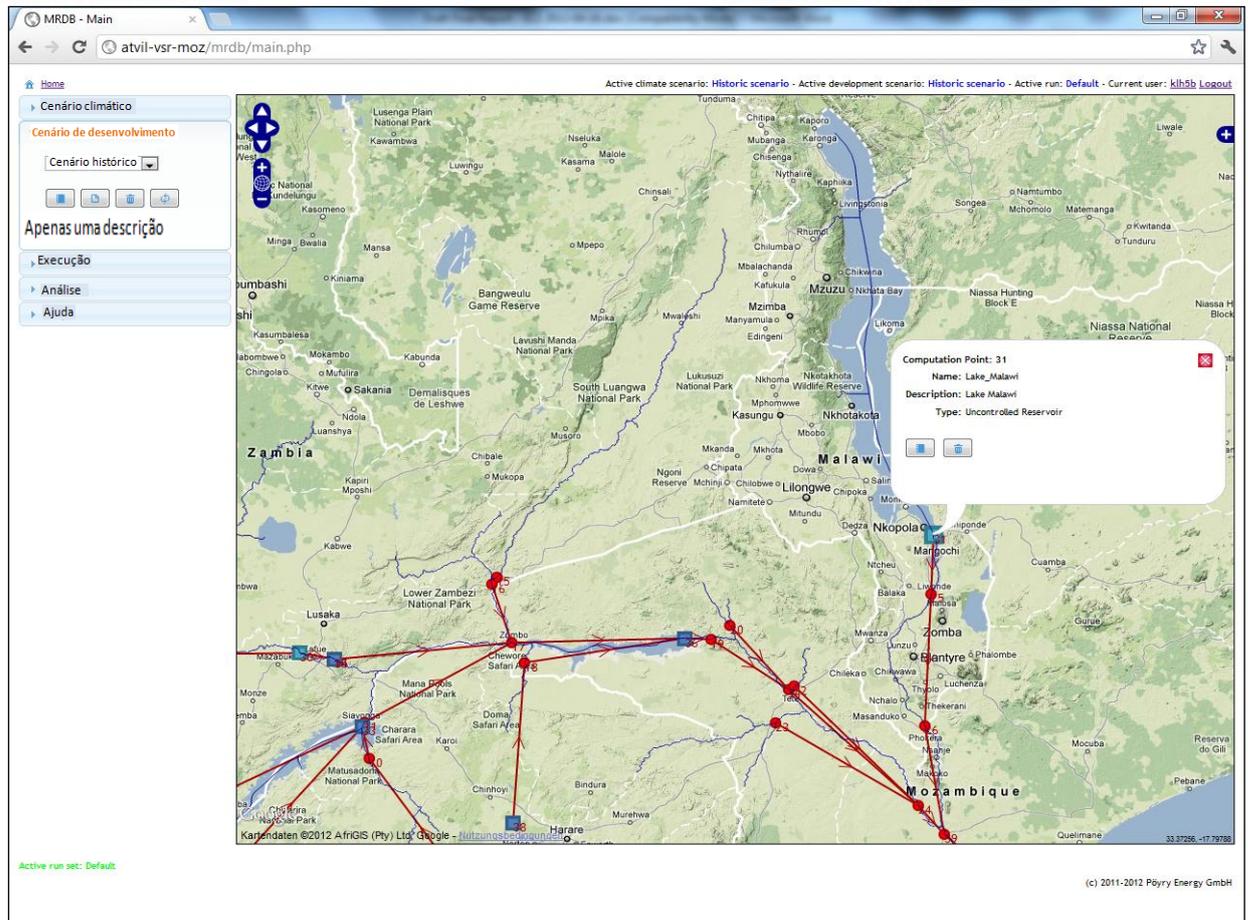


Figura 1-86: Lago Malawi no SAD.

Estudo sobre o impacto de mudanças climáticas

O SAD oferece três cenários de mudanças climáticas pré-definidos que são baseados em dados dos GCMs WATCH (ver Tabela 1-4). O clima observado, que geralmente serve como referência numa avaliação de mudanças climáticas, é armazenado num cenário climático separado (“cenário histórico”). Em um cenário de mudança delta, as séries temporais observadas de precipitação e temperatura podem ser alteradas pelo utilizador (não é feito sob as opções de cenário climático, mas através da definição de factores de correcção para a execução, veja a Figura 1.87). A Tabela 1-9 mostra uma visão geral dos cenários climáticos disponíveis no SAD e os conjuntos de dados em que se baseiam.

Tabela 1-9: Cenários climáticos no SAD

Cenário climático	Conjunto de dados
Cenário histórico	Dados de observação do GPCC/CRU
CNRM	Dados do modelo climático CNRM
ECHAM	Dados do modelo climático ECHAM
IPSL	Dados do modelo climático IPSL
Mudança delta	Varição, definida pelo utilizador, na precipitação (%) e/ou temperatura (°C)

Para o exemplo do estudo, aplica-se dois cenários climáticos. Dos cenários pré-definidos baseados no GCM, selecciona o cenário do IPSL (cenário de emissões A2). Além disso, define-se num cenário de mudança delta, com variações uniformes de temperatura e precipitação ao longo da bacia inteira do Rio Zambeze. Os valores são baseados na análise das projecções de RCM sob o cenário de emissões A1B (ver *Tabela 1-5*): -5% de precipitação e +1,5 °C de temperatura referentes a 2021-2050 e -10% de precipitação e +4,5 °C de temperatura referentes a 2071-2100 (*Figura 1.87*). Os dois períodos são também usados para a análise do cenário do IPSL.

Os efeitos sobre a descarga são analisados tanto para o cenário do IPSL como para o cenário climáticos de mudança delta. Para a descarga do Zambeze em Tete (*Figura 1.88*), as variações na média de 30 anos de descarga sazonal e nas curvas de caudais classificados resultantes são ilustradas na *Figura 1.89*.

A *Figura 1.89* mostra alta sensibilidade da descarga a variações na precipitação. No cenário do IPSL, a precipitação nas principais sub-bacias contribuidoras aumenta em 5-10 % (ver *Figura 1.44*, pág.50). Isto leva a um aumento drástico na descarga, especialmente nos princípios de 2021-2050. No período posterior, a elevada temperatura e a evaporação relacionada atenua o aumento na descarga. Sazonalmente, as principais variações ocorrem na estação chuvosa, de Janeiro a Abril. No cenário de mudança delta, a diminuição da precipitação em 5% no início e 10% no período posterior resulta em diminuições consideráveis na descarga. Uma vez que os mesmos factores de variação são aplicados em todos os meses, a diminuição é distribuída de forma mais uniforme dentro do ano.

O padrão espacial do impacto de ambos os cenários de mudanças climáticas aplicados sobre a descarga na bacia do Zambeze é ilustrada mostrado na *Figura 1.90*. A diminuição da precipitação na parte superior da bacia do Zambeze no cenário do IPSL (de sb_1 a sb_8) tem apenas efeitos menores sobre a – geralmente baixa – descarga nestas áreas. A jusante das Cataratas Vitoria, o IPSL projecta um aumento na precipitação, que leva a aumentos elevados na descarga, notavelmente na bacia do Shire (sb_25 e sb_26). A mudança delta relativa a precipitação é aplicada de forma uniforme sobre a bacia inteira do Zambeze, resultando em impactos similares sobre a descarga na diversas sub-bacias. Mais uma vez, as variações mais acentuadas são simuladas para o Shire.

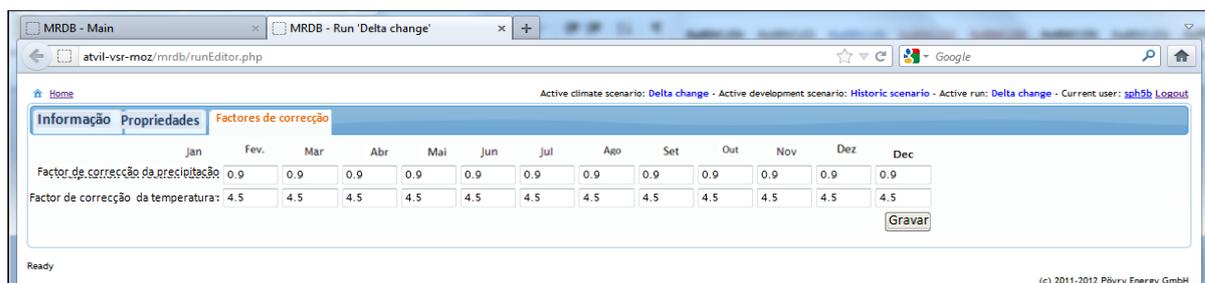


Figura 1-87: Factores de mudança delta definidas pelo utilizador para uma execução do SAD

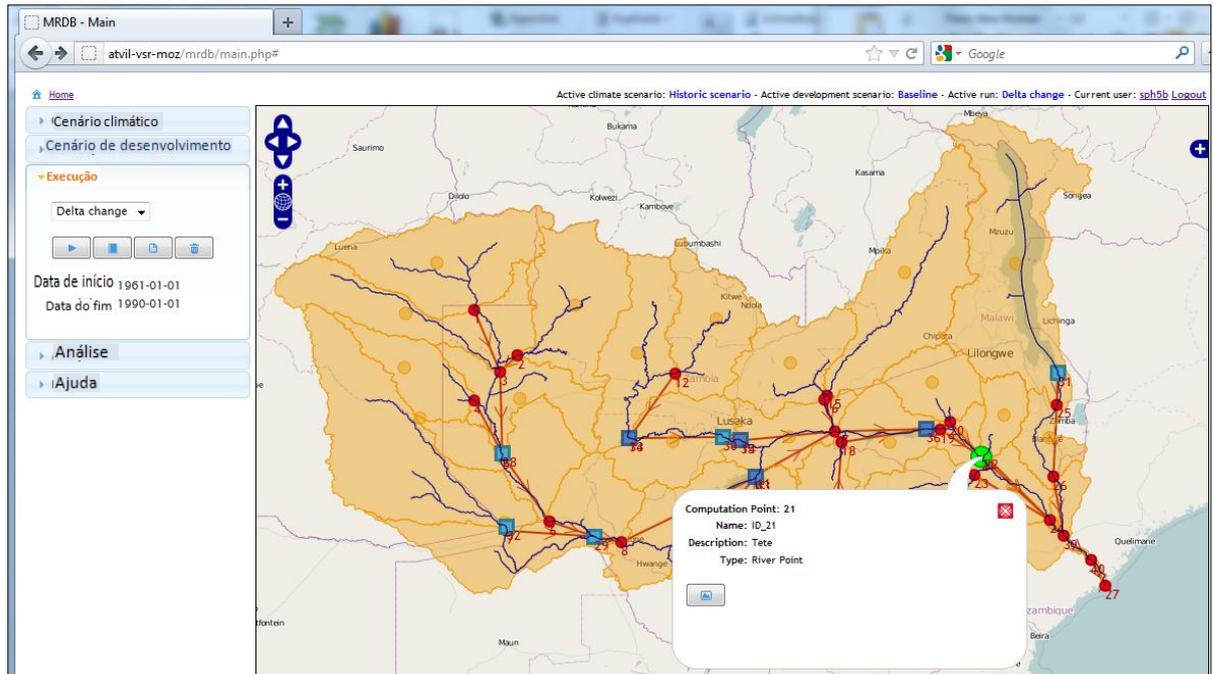


Figura 1-88: Ponto de computação de Tete no SAD

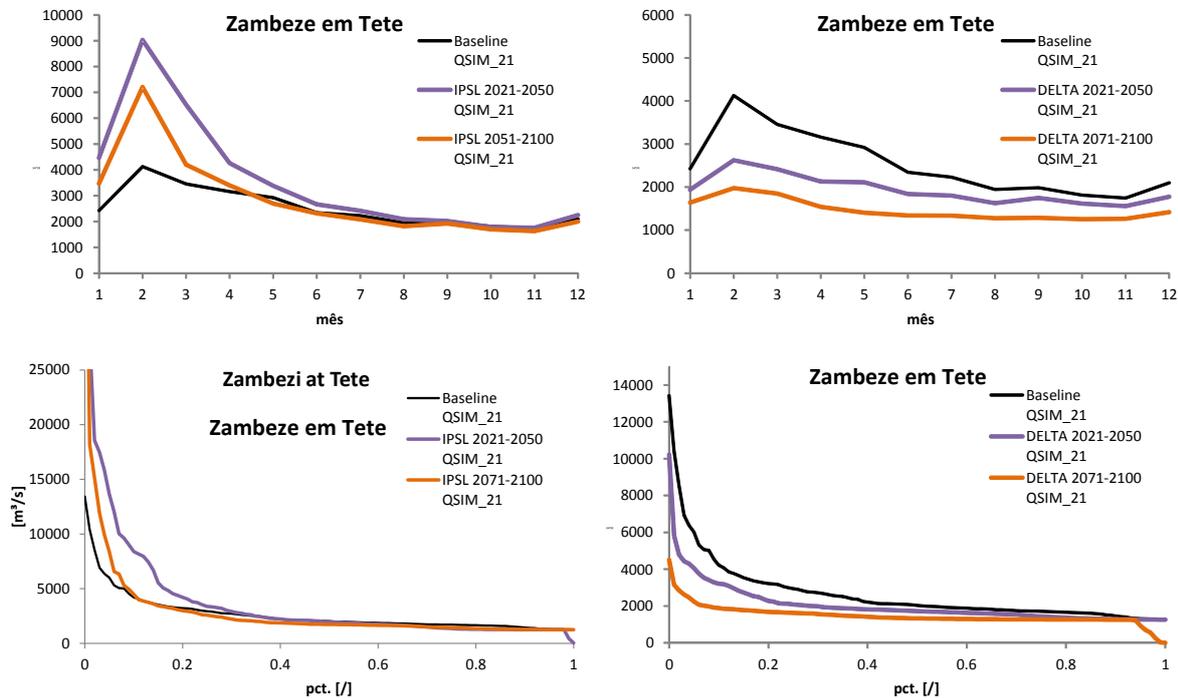


Figura 1-89: Descarga média mensal a longo prazo (no topo) e curvas de caudais classificados (parte inferior) do Rio Zambeze em Tete. Impacto de dois cenários climáticos: o cenário do IPSL (à esquerda) é uma projecção seleccionada do GCM sob o cenário de emissões A2 com aumento na precipitação, e o cenário de mudança delta (à direita) é uma projecção baseada no cenário de emissões A1B com diminuição na precipitação

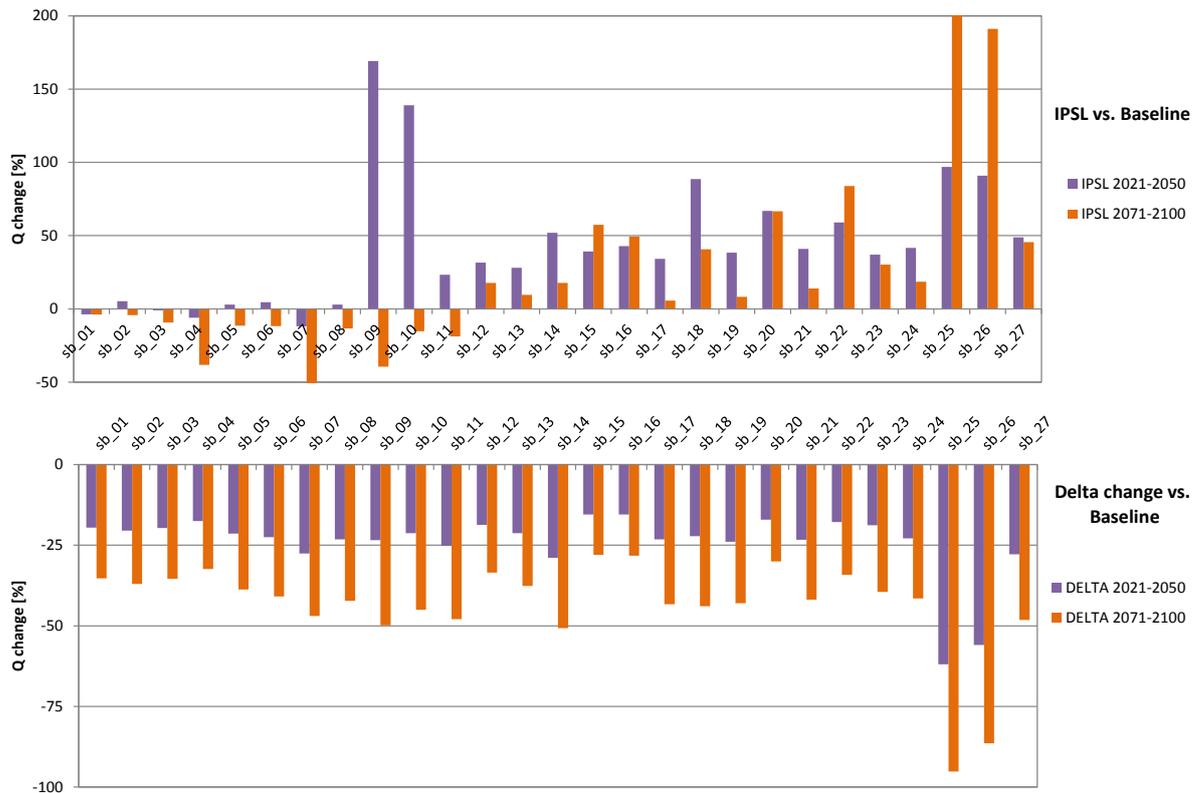


Figura 1-90: *Varição da descarga anual nas secções de controlo de 27 sub-bacias na bacia do Zambeze (o valor da sb_27 representa a bacia inteira do Rio Zambeze). O período de referência 1961-1990 usado para cenário de base. Futuros períodos 2021-2050 e 2071-2100. Impacto de dois cenários climáticos: o cenário do IPSL (no topo) é uma projecção seleccionada do GCM sob o cenário de emissões A2 com aumento na precipitação, e o cenário de mudança delta (parte inferior) é uma projecção baseada em cenário de emissões A1B com uma diminuição na precipitação.*

Avaliação do impacto de desenvolvimentos

De acordo com a análise do Banco Mundial (World Bank 2010), são pré-definidos cenários de desenvolvimento centrados irrigação e energia hidroeléctrica. Define-se dois cenários de desenvolvimento de irrigação: uma para um futuro próximo, com um desenvolvimento moderado de irrigação, e uma para um futuro mais distante, com um desenvolvimento substancial de irrigação. A combinação dos dois cenários de irrigação e um cenário hidroeléctrico leva a dois cenários de desenvolvimento, denominados “desenvolvimento moderado” e “desenvolvimento elevado”. Com os cenários de desenvolvimento usados para calibração e o cenário de base para a comparação de cenários, passa-se para os quatro cenários de desenvolvimento pré-definidos resumidos na *Tabela 1-10*

Tabela 1-10: Cenários de desenvolvimento pré-definidos no SAD

Cenário de desenvolvimento	Descrição
Calibração	Desenvolvimento de reservatórios históricos, irrigação limitada
Linha de base	Reservatórios actuais, irrigação actual
Desenvolvimento moderado	Cenário de irrigação 1 + cenário hidroeléctrico
Desenvolvimento elevado	Cenário de irrigação 2 + cenário hidroeléctrico

Cenários de Irrigação

A determinação dos níveis de captação de água para a irrigação é estreitamente baseada no cálculo do relatório do Banco Mundial (BM). Os valores referentes aos países e sub-bacias na análise do BM foram atribuídos às sub-bacias e pontos de computação no SAD. A *Tabela 1-11* apresenta uma visão geral da demanda anual de irrigação na situação actual e a demanda de água adicional em dois futuros cenários de desenvolvimento de irrigação.

Os dois cenários pré-definidos de irrigação no SAD estão relacionados com os “projectos identificados de irrigação” e “projectos de irrigação de alto nível” do estudo do Banco Mundial. Os “projectos identificados de irrigação” do Cenário de Irrigação 1 representam os projectos específicos que se pode esperar venham a ser implementados a curto prazo. No SAD, a captação adicional para estes projectos começa em 2020. Com este pressuposto de uma implementação bastante tardia, o Cenário de Irrigação 1 pode ser considerado um caminho moderado de desenvolvimento. Os “projectos de irrigação de alto nível” do Cenário de Irrigação 2 representam os planos mais ambiciosos a longo prazo, que também podem ser considerados como o desenvolvimento de irrigação máximo possível. A captação adicional de água no Cenário de Irrigação 2 no SAD começa em 2050.

A demanda mensal de água é atribuída de acordo com os dados das “condições de captação mensal de água na bacia do Rio Zambeze” do relatório do Banco Mundial. Para cada cenário de irrigação e cada bacia e ponto de computação, aplica-se a relativa parte de captação mensal dos respectivos dados (ver exemplo na *Figura 1.91*).

Tabela 1-11: Irrigation demand in the pre-defined irrigation scenarios

BM nome da sub-bacia	BM no. da sub-bacia	SAD no(s). de sub-bacia(s)	Demanda anual de irrigação (m ³ /s)		
			Actual	Cenário de Irrigação 1 (projectos de irrigação identificados) desde 2020	Cenário de Irrigação 2 (projectos de irrigação de alto nível) desde 2050
Alto Zambeze	12	1	1.19	2.74	4.81
Kabompo	13	2	0.15	2.75	4.36
Lungue Bungo	11	3	0.50	0.25	4.97
Luanginga	10	4	0.45	3.09	6.05
Barotse	9	5, 6	0.11	3.82	5.45
Quando / Chobe	8	7, 8 (partes de 6)	1.35	15.95	15.75
Kafue	7	12, 13, 14	19.45	5.16	10.27
Kariba	6	9, 10, 11	19.56	67.96	304.97
Luangwa	5	15, 16	3.82	2.00	8.60
Mupata	4	17	10.18	4.62	0.00
Tete	2	18, 19, 21, 22, 23, 24	21.21	14.62	83.22
Lago Malawi / Shire	3	25, 26	20.57	24.31	140.85
Zambeze Delta	1	27	4.03	39.36	51.47
Bacia do Rio Zambeze			102.58	186.62	640.75

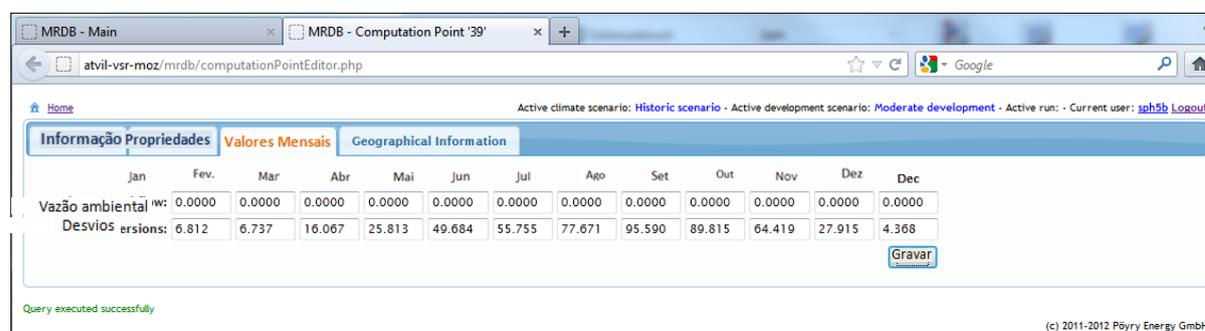


Figura 1-91: Condições de captação mensal de água num ponto de computação exemplar (pc_39 na sb_27).

Cenário hidroeléctrico

Vários projectos hidroeléctricos estão previstos para a bacia do Rio Zambeze, incluindo a reabilitação e ampliação das actuais centrais eléctricas e a construção de novas instalações. 17 projectos fazem parte da lista da avaliação do BM. Para o cenário de desenvolvimento hidroeléctrico pré-definido no SAD, apenas dois projectos com elevado impacto na hidrologia do rio são considerados: Batoka Gorge, a montante de Kariba e Mphanda Nkuwa, a jusante do projecto de Cahora Bassa (Figura 1.92). Espera-se que ambas instalações estejam concluídas até 2024. No cenário hidroeléctrico pré-definido, a data de aceitação (ano de início de operação) do reservatório está definida para 2020, para que coincida inteiramente com o Cenário de Irrigação 1.



Figura 1-92: Rede de pontos de computação incluindo os reservatórios previstos de Batoka Gorge e Mphanda Nkuwa.

Para a central eléctrica de Batoka Gorge, prevê-se uma capacidade instalada de 1600 MW. A barragem de 181 de altura irá gerar um reservatório com uma capacidade de armazenamento de 1600 hm³ e uma área de superfície de 25,6 km² no seu Nível Máximo de Exploração. Para Mphanda Nkuwa considera-se uma capacidade instalada de 2700 MW. No seu Nível Máximo de, prevê-se que reservatório tenha uma capacidade de armazenamento de 2324 hm³ e uma superfície de 96,5 km². Estes reservatórios previstos são pequenas quando comparados com os actuais Kariba e Cahora Bassa.

Exemplo

Na avaliação, os cenários de desenvolvimento são combinados com os cenários climáticos de mudança delta descritos acima. O cenário de desenvolvimento moderado é analisado dentro do período de 2021-2050, e o cenário de desenvolvimento elevado dentro do período 071-2100. Os resultados dos cenários de mudanças climáticas sem o desenvolvimento de irrigação e hidroeléctrico são apresentados pela linha tracejada na *Figura 1.93*.

O impacto do cenário de desenvolvimento é claramente visível em ambos os períodos, com o maior impacto no cenário de desenvolvimento elevado durante meses de baixo fluxo (de Outubro a Dezembro, *Figura 1.93* à esquerda). A curva de caudais classificados para o cenário de desenvolvimento elevado (*Figura 1.93* à direita) mostra que quase não há fluxo numa parte considerável do período analisado de 2071-2100. Isto deve-se ao facto de que os níveis de água do reservatório de Cahora Bassa encontram-se abaixo do nível mínimo de operação durante

vários meses e não se pode descarregar água a jusante. Isto mostra que as regras de operação (tal como implementadas no SAD) deveriam ser adaptadas sob este cenário de mudança climática e desenvolvimento elevado.

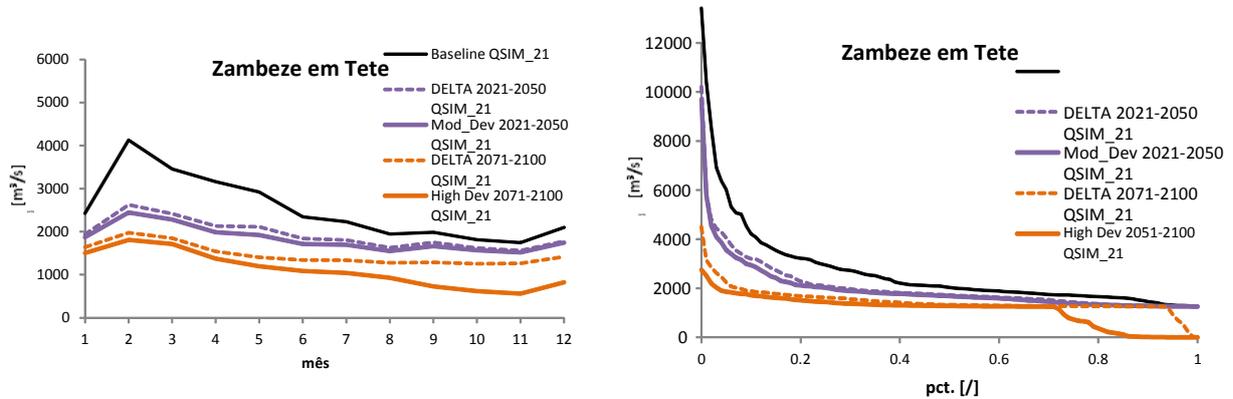


Figura 1-93: Descarga média anual a longo prazo (à esquerda) e curva de caudais classificados (à direita) em Tete, sob impacto da mudança climática apenas (cenários de mudança delta – “DELTA” – referentes a 2021-2050 e 2071-2100) e combinações de mudança climática e impacto de desenvolvimentos (cenário de desenvolvimento moderado – “Mod_Dev” – referentes a 2021-2050 e o cenário de desenvolvimento elevado – “High_Dev” – referente a 2071-2100)

O forte impacto dos cenários de desenvolvimento elevado de sobre descarga também é ilustrado na Figura 1.94 das sub-bacias da bacia do Zambeze. Aqui, a descarga simulada das combinações de mudança climática e cenários de desenvolvimento está relacionada com as simulações de referência sob condições de mudanças climáticas apenas (cenários climáticos de mudança delta com cenário de desenvolvimento de base) – a relativa variação na descarga anual na Figura 1.94 corresponde, portanto, à diferença entre a linha tracejada na Figura 1.93 (mudança climática apenas) e a linha contínua (mudanças climáticas e desenvolvimentos). Em várias sub-bacias, o impacto da de desenvolvimentos de irrigação e hidroeléctricos leva uma diminuição da descarga anual de mais de 40% (07 - Kwando, 11 - Kariba, 26 - Chiromo). O impacto do cenário de desenvolvimento moderado apenas leva a diminuições menores da descarga disponível de ronda abaixo dos 10 %.

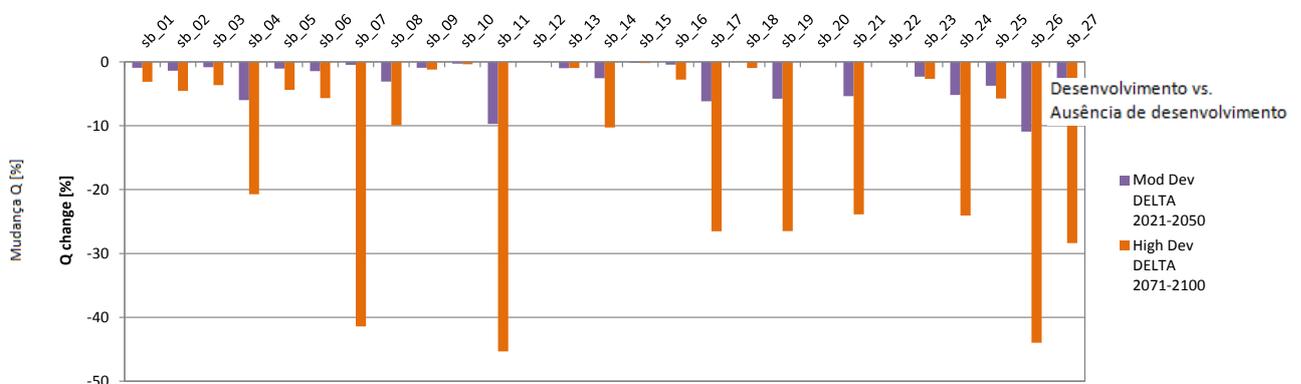


Figura 1-94: Variação relativa da descarga anual nas 27 sub-bacias devido ao impacto de desenvolvimentos (cenário de desenvolvimento moderado – “Mod_Dev” – para 2021-2050 e cenário de desenvolvimento elevado – “High_Dev” - para 2071-2100, ambos em comparação com o cenário climático de mudança delta sem o desenvolvimento do respectivo período).

Tabela 1-12: Execuções típicas no SAD (combinações de um cenário de desenvolvimento, de um cenário climático e de um período de simulação); análises de execuções coloridas são apresentadas aqui, as cores correspondem que estão na Figura 1.95.

Indicação da execução	Cenário de desenvolvimento	Cenário climático	Período de simulação
Calibração	Calibração	Observações	1961-1990
Linha de base	Linha de base	Observações	1961-1990
CC CNRM 2021-2050	Calibração	CNRM	2021-2050
CC ECHAM 2021-2050	Linha de base	ECHAM	2021-2050
CC IPSL 2021-2050	Calibração	IPSL	2021-2050
CC DELTA 2021-2050	Linha de base	Delta change	2021-2050
CC CNRM 2071-2100	Calibração	CNRM	2071-2100
CC ECHAM 2071-2100	Linha de base	ECHAM	2071-2100
CC IPSL 2071-2100	Calibração	IPSL	2071-2100
CC DELTA 2071-2100	Linha de base	Delta change	2071-2100
Mod Dev CNRM	Calibração	CNRM	2021-2050
Mod Dev ECHAM	Linha de base	ECHAM	2021-2050
Mod Dev IPSL	Calibração	IPSL	2021-2050
Mod Dev DELTA	Linha de base	Delta change	2021-2050
High Dev CNRM	Calibração	CNRM	2071-2100
High Dev ECHAM	Linha de base	ECHAM	2071-2100
High Dev IPSL	Calibração	IPSL	2071-2100
High Dev DELTA	Linha de base	Delta change	2071-2100

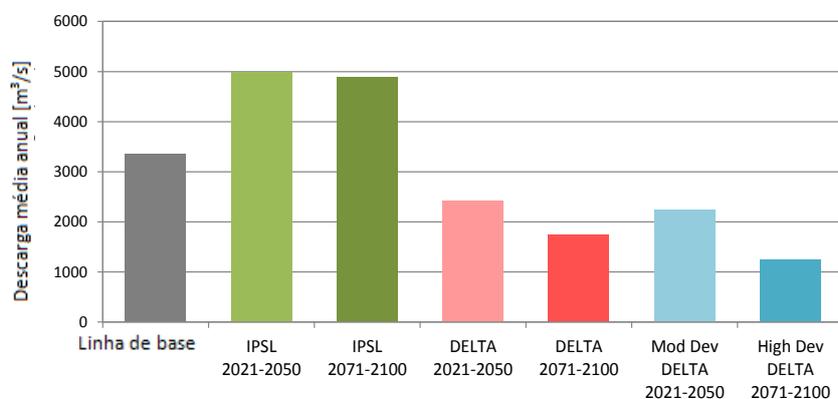


Figura 1-95: Descarga média anual do Rio Zambeze (bacia inteira) sob cenários seleccionados de mudanças climáticas e de desenvolvimento.

1.6.5 Limitações do SAD

Embora o SAD seja uma ferramenta de ponta, contém várias limitações, como as abaixo apresentadas.

O SAD usa dados mensais para a simulação. Por conseguinte, o potencial para avaliar inundações é limitado, uma vez que alguns afluentes (por exemplo, Rio Luangwa a montante do reservatório de Cahora Bassa) mostram fluxos máximos maiores em dias isolados do que em termos de média ao longo de um mês.

A resolução espacial do SAD é reflectida pelas grandes sub-bacias. Esta resolução aplica-se também para os dados de entrada (precipitação e temperatura). Por conseguinte, mesmo que o utilizador insira novos pontos de computação em qualquer localização ao longo da rede hidrográfica, resultados de simulação precisos são obtidos apenas para pontos de computação onde as áreas a montante sejam maiores do que aproximadamente 50.000 km². O SAD visualiza uma mensagem de aviso se o utilizador quiser inserir pontos de computação para áreas menores.

Os dados de entrada em grelha (precipitação, temperatura) são baseados na regionalização a partir de apenas algumas observações nas estações, especialmente nas secções a montante da bacia. Esta baixa densidade de estações e baixa disponibilidade de observações é uma fonte de incerteza para os dados de entrada do SAD, especialmente para os dados observados antes de 1950 e depois de 2005.

Os índices de precipitação e evaporação para/a partir de massas de água nos reservatórios são baseados em dados que estejam disponíveis apenas na resolução de sub-bacias muito mais grossa e não na localização real do reservatório. Portanto, estes fluxos contêm algumas incertezas.

Geralmente é difícil avaliar o efeito hidrológico das vastas zonas húmidas e planícies aluviais (Planície Aluvial Barotse, Planície Aluvial Kwando, Pântanos Chobe, Planícies Kafue). Estudos separados e detalhados seriam necessários (incluindo visitas ao local) para investigar este efeito, mas isso seria fora do âmbito do presente estudo. Além das Planícies Kafue, as zonas húmidas e as planícies aluviais estão localizadas em áreas remotas e apenas informação limitada encontra-se disponível. Por isso, a simulação das zonas húmidas/planícies aluviais com o SAD contém algumas incertezas.

Os parâmetros do modelo hidrológico (modelo de balanço hídrico) foram calibrados em comparação com os dados observados de descarga, com o objectivo de minimizar a diferença entre os dados simulados e observados. Quaisquer vieses nas observações corrompem, portanto, os valores dos parâmetros calibrados e afectam a descarga simulada. Apesar de os indicadores com dados aparentemente tendenciosos terem sido excluídos da calibração, é provável que alguns dos indicadores usados ainda estejam afectados por vieses, embora a magnitude destes vieses não seja conhecida.

As regras de operação de reservatórios grandes (Kariba, Cahora Bassa) no SAD podem desviar-se das regras reais de operação destes reservatórios. No SAD, as operações aplicam-se de acordo com regras fixas (extraídas de diferentes relatórios recebidos), ao passo que as operações reais podem também ter em conta a demanda, condições necessárias para manutenção, previsões de influxos, etc.

As retiradas de água para irrigação são especificadas como consumo líquido (a mesma abordagem também foi utilizada no estudo do Banco Mundial, 2010). Contudo, não considera que a quantidade real de água necessária para irrigação também depende do clima futuro. Os modelos agrícolas de humidade do solo e necessidades de água das culturas seriam necessários para avaliações mais detalhadas.

Os cenários de desenvolvimento moderado e elevado que estão inclusos no SAD são baseados no estudo do Banco Mundial (Banco Mundial, 2010). Nenhum horizonte de tempo está ligado a estes cenários e a implementação efectiva dos projectos depende de decisões políticas e económicas.

As projecções disponíveis dos modelos climáticos contêm incertezas significativas. Por isso, a interpretação destes dados deverá ser rigorosamente vista como análise de cenários e não como previsões deterministas. Estas incertezas decorrem de diversas fontes, incluindo cenário de emissões, variabilidade natural do clima, erros nos Modelos Gerais de Circulação Atmosférica, e erros na abordagem de regionalização. Um grande conjunto de projecções climáticas seria necessário para uma avaliação completa destas incertezas.

1.6.6 Segurança do SAD

O SAD é um sistema *online* e pode, portanto, ser um potencial alvo de ataques de *hackers*. Por isso, durante o desenvolvimento dos SAD um dos objectivos foi minimizar estas ameaças potenciais, como apresenta-se abaixo. Existe diferentes níveis de utilizadores, com diferentes permissões:

- “utilizador padrão”: inicia execuções, edita seus cenários climáticos, edita seus cenários de desenvolvimento;
- “admin hidrológico”: todas as permissões de “utilizador padrão” mais acesso completo aos parâmetros de modelo hidrológico e dados assim como aos dados climáticos;
- “utilizador admin”: cria novas contas de utilizador, define as permissões dos utilizadores, elimina contas de utilizadores;
- “desenvolvedor”: todas as permissões.

As contas com permissão “desenvolvedor” são codificados e não podem ser alteradas/atacadas por acesso *online*. O “utilizador admin” só pode gerir as contas e não pode aceder ao SAD, ao passo que “admin hidrológico” tem pleno acesso ao SAD do Zambeze, mas não a gestão de contas. Isto garante que as responsabilidades e as permissões sejam claramente separadas no SAD.

Está disponível uma página da internet separada para o “utilizador admin” para gerir as contas dos utilizadores. Esta página da internet tem um endereço “escondido” que não está ligado nenhuma outra página e não pode ser encontrado através de motores de busca (por exemplo, o Google). Acesso a esta página é restringido por palavra-passe. Por razões de segurança, nenhuma imagem de ecrã da página é fornecida aqui. Armazena-se várias de informações para cada utilizador, incluindo o registo do tempo de início de sessão, número de entradas sem sucesso devido a falha da palavra-passe (que é uma indicação de potenciais ataques de hackers), endereços primário e IP da última tentativa de início da sessão sem sucesso, etc.

Cada utilizador tem uma conta que está protegida por uma palavra-passe. Se o utilizador esquecer a sua palavra-passe, poderá solicitar uma nova do “utilizador admin”. Cada utilizador pode criar os seus próprios cenários climáticos e de desenvolvimento. Por norma, estes cenários não são visíveis para os outros utilizadores, excepto se o utilizador quiser torna-los público.

Se outras ferramentas (por exemplo, GeoNode) também estiverem no mesmo servidor que o SAD do Zambeze, isto vai aumentar o tráfego no servidor, aumentando também, assim, de forma potencial o risco de ser alvo de um ataque de *hackers*. Para além do risco de ser o alvo de um ataque de *hackers*, o principal risco é o de que as pessoas que são utilizadores “admin hidrológico” e “utilizador admin” não ajam de forma responsável. Por isso, é necessário um grande cuidado ao conceder essas permissões as pessoas.

Como uma medida geral de segurança, recomenda-se que se faça *backups*, copiando todo o sistema para dispositivos de armazenamento *off-line*.

1.7 RESUMO E CONCLUSÕES

A lista a seguir resume os resultados deste projecto.

- Um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) no âmbito hídrico foi desenvolvido para toda a bacia do Zambeze, abrangendo 1,4 milhões km², o que é quase o dobro do tamanho de Moçambique.
- O SAD foi concebido de forma flexível, de tal modo que possa ser alargado no futuro com um esforço razoável para as outras bacias hidrográficas (por exemplo, Limpopo, Pungué) ou passos temporais mais curtos (por exemplo, resolução diária).
- O SAD abrange os mais importantes rios e os grandes reservatórios também, incluindo Cahora Bassa.
- O SAD pode ser usado para analisar actuais e futuros cenários de desenvolvimentos de água. O sistema permite que diferentes partes interessadas em Moçambique (e também nos países a montante) avaliem rapidamente o impacto de quaisquer novos desenvolvimentos de recursos hídricos e mudanças induzidas pelo clima sobre as infra-estruturas a jusante e sobre o abastecimento de água.
- O SAD é um aplicativo baseado na Web fácil de entender e usar e oferece um desempenho computacional elevado.
- Os componentes do SAD incluem um sistema de gestão de informações (SGI) e um modelo de bacia hidrográfica (RBM).
- O IMS inclui uma interface gráfica do utilizador baseada na Web e uma base de dados dinâmica, componentes do SIG e ferramentas analíticas. A visualização do mapa na interface do utilizador integra camadas SIG, elementos dos modelos e mapas de fundo dinâmicos (Open Street Map, mapas do Google).
- O RBM é constituído pelo módulo de balanço hídrico (WBM) e módulo de distribuição de água (WAM). Os dois módulos usam passos temporais mensais.
- O WBM usa 27 sub-bacias para simular o escoamento na bacia do Zambeze a partir de dados de entrada de precipitação, soil moisture accounting (contabilidade de solo húmido), evapotranspiração e componentes de fluxo rápido e lento (base).
- O WAM usa 40 elementos (pontos de computação), representando secções de rio, zonas húmidas/planícies aluviais/lagos e grandes reservatórios (como o Cahora Bassa ou Kariba). Outros elementos podem ser adicionados pelo utilizador, de forma interactiva, para o SAD.

- Para cada elemento do WAM, a demanda de água pode ser especificada para considerar as retiradas de água (consumo líquido) devido à irrigação, uso doméstico ou industrial de água.
- A simulação da operação dos reservatórios é baseada nas características dos reservatórios e nas regras de operação.
- Os cenários climáticos analisados incluem condições históricas (1950-2005) e projecções de modelos climáticos (1960-2100) de seis diferentes modelos climáticos. As execuções de simulação do SAD podem se basear em cenários climáticos pré-existentes, método de mudança delta ou o upload de novos cenários climáticos (a correcção de vieses tem de ser feita pelo utilizador com ferramentas externas).
- As execuções de simulações do SAD podem ser para qualquer período de tempo entre 1950 e 2100.
- O SAD inclui uma ferramenta de análise para a visualização dos resultados das simulações, incluindo uma extensa lista de variáveis de modelo (escoamento, precipitação, temperatura, evapotranspiração, níveis de água dos reservatórios, etc.). As variações nas frequências dos fluxos (secas, caudais elevados) podem ser analisadas através a partir das curvas de caudais classificados. A exportação dos resultados em formato de tabela permite o pós-processamento com um software externo (por exemplo, O Excel).
- O SAD é instalado num servidor que será entregue a Moçambique. A localização do servidor será a CENOE em Maputo.

Para além das tarefas definidas no Termo de Referências original (TOR), existe benefícios acrescidos para o projecto, incluindo:

- Maior número de elementos (pontos de computação) no módulo de distribuição de água do que o inicialmente proposto, isto é, os elementos incluídos são 40 (SAD) em vez de 30 (TOR).
- Os dados de períodos temporais mais longos são incluídos como cenário histórico no SAD, isto é, o período histórico abrangido é 1950-2005 (SAD) em vez de 1961-1990 (TOR).
- Maior número de cenários climáticos analisados, ou seja, seis (SAD) em vez de três (TOR).
- Exemplos de aplicação do SAD estão contidos no presente relatório (não parte do TOR). Tais exemplos incluem a avaliação do impacto das mudanças climáticas, irrigação e desenvolvimento de barragens.

Os resultados deste projecto permitem algumas conclusões importantes:

- A bacia do Rio Zambeze possui hidrologia complexa. Juntamente com a baixa cobertura (e pouca qualidade) de observações, isto coloca uma situação desafiadora para qualquer modelagem hidrológica.
- O pré-processamento de dados centrou-se em numerosas fontes diferentes de dados. A comparação do mesmo tipo de variáveis de fontes diferentes mostrou que existe incertezas consideráveis nos dados apresentados (por exemplo, descargas da DNA vs. GRDC, precipitação do GPCC vs. CRU, evapotranspiração potencial do CLIMWAT vs. CROPWAT vs. CRU).
- O escoamento é apenas um pequeno elemento do balanço hídrico, visto que cerca de 92% da precipitação é perdida por evapotranspiração para a atmosfera e apenas 8% gera escoamento. Por isso, pequenos erros na estimativa da evapotranspiração podem resultar em grandes erros na simulação do escoamento.

- A calibração do modelo hidrológico para simulações de escoamento centrou-se em localizações chave, ao passo que os dados de alguns indicadores foram rejeitados devido a aparente quantidade enorme de vieses. Em geral, os desempenhos dos modelos obtidos são semelhantes ou mais elevados do que os dos estudos anteriores na bacia do Zambeze.
- Como em outros estudos, existe alguns (pequenos) desvios entre a sazonalidade simulada e a observada da descarga. Por exemplo, a sazonalidade simulada da descarga em Cataratas Victoria acontece mais cedo em relação a das observações. Contudo, não há impactos significativos a jusante devido ao forte efeito negativo dos grandes reservatórios ao longo do Zambeze (Kariba, Cahora Bassa).
- As simulações de reservatórios apresentam padrões similares aos dados observados (níveis de água, vazões). Contudo, é complicado fazer comparações pelo facto de que as regras de operação mudaram ao longo do tempo.
- Os exemplo de aplicação do SAD mostraram alta sensibilidade de descarga do Zambeze às mudanças climáticas e desenvolvimentos de irrigação. Os desenvolvimentos de irrigação levam a uma certa redução da descarga, ao passo que as mudanças climáticas podem provocar diminuição ou aumento na descarga (dependendo do cenário climático). A sensibilidade de descarga é baixa em relação ao desenvolvimento adicional de barragens a montante.

O SAD desenvolvido é ferramenta de análise de ponta, bem calibrada e fácil de usar que irá servir aos analistas moçambicanos na rápida avaliação do impacto das mudanças climáticas e desenvolvimentos a montante sobre a descarga. Devido a sua implementação como um sistema aberto baseado na Web, o SAD também está disponível para o público em geral.

1.8 RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho desenvolvido durante o projecto, apresenta-se as seguintes recomendações:

- As projecções de uma nova geração de modelos climáticos serão publicadas num futuro próximo (provavelmente final de 2012) dentro do quadro da CORDEX África, o que será um contributo para o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (previsto para 2014). Estes novos modelos climáticos de alta resolução constituirão um grande avanço em relação as projecções regionais para o futuro clima de África. Estas novas projecções climáticas poderiam ser pré-processadas e importadas para o SAD do Zambeze para uma primeira avaliação do impacto sobre futuras descargas do rio.
- O SAD poderia ser expandido para outros rios importantes em Moçambique, como, por exemplo, as bacias do Limpopo, o Save e Pungoé. A mesma interface do utilizador seria usada para estas bacias. Por isso, os analistas moçambicanos com experiência no uso do SAD do Zambeze seriam imediatamente capazes de usar o SAD também em outras bacias hidrográficas. Os outros serviços a serem fornecidos pelo Consultor de expansão do sistema para outros rios incluem a recolha de dados, montagem do modelo hidrológico, calibração e definição de cenários. Na base da experiência e ferramentas do SAD do Zambeze, pode-se alcançar este fim de uma forma custo-eficaz.
- O SAD poderia ser expandido também para simular a produção de energia hidroeléctrica. Isso permitiria avaliar directamente o impacto das mudanças climáticas e desenvolvimento de recursos hídricos na produção de energia, por exemplo, na

central eléctrica de Cahora Bassa.

- O SAD poderia, então, ser usado para mostrar os *trade-offs* entre diferentes desenvolvimentos, tais como irrigação vs. produção de electricidade. Além disso, a optimização da mitigação de risco de inundações a jusante e operações hidroeléctricas seria possível.
- O trabalho de SC2 (mapeamento de inundação) poderia ser integrado no SAD. Isto permitiria avaliar a forma como a situação das inundações muda sob diversos cenários, incluindo mudanças climáticas e regras de operação de reservatórios. Contudo, uma vez que o SAD está actualmente baseado em dados mensais, as análises estatísticas são necessárias para avaliar a relação entre a descarga mensal e os picos de inundações.
- Um estudo-piloto poderia avaliar a possibilidade de expandir as simulações do SAD de passos temporais mensais para diários. Isto inclui a investigação da disponibilidade de dados de entrada, resolução espacial, componentes dos modelos hidrológicos necessários e questões de gestão de dados (que são importantes devido ao facto de que o SAD é um sistema *online*). Tal estudo seria também um passo importante para avaliar a possibilidade de actualizar o SAD de modo que se torne um sistema operacional de previsão de escoamento (a tempo real).
- Recomenda-se que haja convite proactivo a hidrólogos de países a montante para usarem o SAD do Zambeze. Com efeito, recomenda-se formação sobre o SAD para hidrólogos de diferentes países. Esta acção contribuiria para promover a cooperação regional e a compreensão mútua. Uma ferramenta comum e aberta como o SAD também facilitaria a comunicação entre as partes interessadas e a abriria caminhos para uma melhor partilha de informações entre países e instituições. Como o SAD do Zambeze é propriedade de Moçambique, as decisões sobre quais as informações a partilhar serão completamente reservadas.
- A comunicação e troca de conhecimentos entre os utilizadores do SAD poderia ser melhorada através da implementação de um fórum baseado na Web onde os utilizadores podem postar perguntas, ler as soluções postadas pelos outros utilizadores e desenvolver discussões *online*. Isto poderia ser directamente integrado na secção de Ajuda (Help section) do SAD, uma vez que o SAD já é um sistema *online*. Contudo, para que isto tenha sucesso, é necessário que o grupo de utilizadores activos seja suficientemente grande e que haja uma administração do fórum.
- Durante este projecto, os dados de descarga foram recolhidos em muitas instituições diferentes, muitas vezes com a condição de que os dados não podem ser publicados e distribuídos (consequentemente os dados foram tratados como classificados). Por isso, quaisquer novos projectos precisariam de passar pelo processo de aquisição de dados novamente, o que não é custo-eficaz. Recomenda-se que haja melhores acordos de partilha de dados na bacia do Zambeze.
- Os dados observados de descarga só estão disponíveis em poucas localizações da parte moçambicana da bacia do Zambeze. Existe vários afluentes moçambicanos importantes sem medidas ou com medidas incompletas (por exemplo, Rio Luia e Rio Luenha). Além disso, as medidas existentes parecem ter má qualidade (por exemplo, os dados de descarga durante baixo caudal do Rio Zambeze próximo de Tete diferem-se em 100% entre diferentes fontes de dados). Por isso, é altamente recomendável (a) a avaliação da qualidade das medidas através de uma reavaliação da relação cota-descarga nos indicadores existentes e (b) a instalação de novos indicadores nos afluentes mais importantes.

1.9 REFERÊNCIAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO irrigation and drainage paper 56. FAO
- Duan, Q., Sorooshian, S., Gupta, V., 1992. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resour. Res.* 28 (4), 1015–1031.
- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K., Martinez, G.F., 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: implications for improving hydrological modelling. *J. Hydrol.* 377, 80–91.
- Harrison, G.P., Whittington, H., 2002. Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change. *Journal of Hydrology* 264, 230-241.
- Kling, H., Fuchs, M., Paulin, M., 2012. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology* 424-425, 264-277.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part 1 – A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10, 282–290.
- Piani, C., Haerter, J.O., Coppola, E., 2010. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theor. Appl. Climatol.* 99, 187–192.
- Tolson, B.A., Shoemaker, C.A., 2007. Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration. *Water Resources Research* 43, 16.
- Winsemius HC, Savenije HHG, Gerrits AMJ, Zapreeva EA, Klees R. 2006. Comparison of two model approaches in the Zambezi River basin with regard to model reliability and identifiability. *HESS* 10: 339-352
- Winsemius HC, Savenije HHG, Bastiaanssen WGM. 2008. Constraining model parameters on remotely sensed evaporation: justification for distribution in ungauged basins? *HESS* 12: 1403-1413

SUBCOMPONENT 2: MODELIZAÇÃO DE CHEIAS

2.1 TRABALHOS ACORDADOS (TERMOS DE REFERÊNCIA DE ACORDO COM A PROPOSTA DO CONSULTOR APROVADA)

A subcomponente 2 inclui o mapeamento de cheias e obras de protecção contra cheias. Os resultados esperados incluem o desenvolvimento de uma relação entre os caudais e níveis de água ao longo da bacia hidrográfica com recurso a um modelo hidráulico unidimensional HEC-RAS (USACE 2010). O modelo inclui os cumprimentos dos canais principais do Rio Zambeze à jusante da barragem de Cahora-Bassa (604 Km), do rio Pungue (370 Km) e do rio Limpopo (576 Km) dentro da sua bacia hidrográfica. As simulações de cheias foram feitas tomando em conta a batimetria das bacias hidrográficas em estudo bem como dos cenários das mudanças climáticas. Dependendo da disponibilidade de dados, será apresentado um modelo mais detalhado de Avaliação de Risco de Cheias (FRA) com recurso a 2D (modelo bidimensional).

As obras de defesa contra cheias foram abordadas de modo a incluir as recomendações baseadas na informação colhida na fase do modelo de simulação de cheias. Foi proposta uma abordagem holística para a avaliação de alternativas para evitar ou minimizar as cheias tendo em conta o risco, perigo e aspectos socioeconómicos. O conceito “making room for water” foi privilegiado no lugar de estruturas rígidas de defesa contra cheias, sempre que apropriado, de modo a resolver ou reduzir o risco de cheias de uma forma sustentável e holística não somente para locais isolados mas, sempre que possível para cobrir rios de maior comprimento. As obras de defesa/protecção contra cheias serão projectadas por forma a trazer benefícios para a economia local e com baixos custos de manutenção.

2.2 SUMÁRIO EXECUTIVO

Os rios Zambeze, Púngue e Limpopo estão entre os rios mais vulneráveis a cheias em Moçambique. A presente situação de cheias poderá alterar-se perante as pressões das alterações climáticas. Os modelos Hidráulicos são um instrumento apropriado para simular alterações no regime de inundações desde o “status quo” até cenários climáticos projectados.

Foram colhidos dados contidos nos relatórios anteriores e informação de domínio público para o exercício das simulações hidráulicas. Para a preparação do modelo de simulação hidráulica unidimensional HEC-RAS, foram usados, modelo de elevação digital (DEM), mapa do uso da terra, informação sobre largura do canal, dados históricos dos caudais e projecções dos caudais tomando em conta as mudanças climáticas, ao longo dos canais principais dos três rios. As áreas modeladas cobrem visualmente os estuários. Estas regiões influenciadas pelo nível das águas do mar não estão entretanto de forma dinâmica incluídas nas simulações uma vez que com base nos resultados da Fase I do INGC, os níveis de maré alta são consideradas condições fixas. O Modelo de Elevação Digital (DEM) foi corrigido em termos de elevação das cidades e florestas, dados hidrológicos e inclinação dos canais, com recurso a medidas estatísticas e de uma equação de regime empírico. Os valores de rugosidade das bordas dos canais foram assumidos para uma única classe de cobertura da terra e inclinação do canal com base nas definições de literatura para os níveis mínimo, esperado e máximo. Não se dispunha de dados de referência dos caudais que representem a situação actual com qualidade suficiente e nível de resolução para definir distintos períodos de retorno de cheias. Ao invés, os caudais esperados com base em períodos

de retorno conhecidos foram colhidos de análises hidrológicas anteriores e atribuídas as margens mínima e máxima. Os cenários de mudanças climáticas para 2045-2065 estão disponíveis na Fase I do projecto do INGC, com períodos de retorno de cheias de dois e vinte anos. Para definir os cenários de cheia foram usados a frequência projectada de cheias e mudanças de caudais de cheias. O gráfico da base de dados foi usado para atribuir as mudanças de caudal mínima, esperada e máxima. Para tomar em conta possíveis incertezas/falhas da simulação ao longo dos rios todos os dados de “input” são usados como indicadores.

Foi usada uma banda de caudais para a calibração e validação do modelo. No decurso deste processo, foi constatado que o Delta do Zambeze não poderia ser suficientemente modelado numa abordagem unidimensional. Assim um modelo bidimensional AdH foi adoptado para o delta do Zambeze para suficientemente tomar em conta dos caudais laterais, caminhos de mudança de caudais, processos de infiltração e evaporação e caudais divididos. Os modelos foram calibrados tendo a profundidade do canal como o parâmetro principal equipando a equação do regime para cenários de caudais de descarga em altura máxima do rio. O desempenho do modelo foi testado usando medições de nível/caudal e mapas de inundação cobrindo eventos históricos de cheias. A validação dos resultados é boa para os rios Zambeze e Limpopo e suficiente para o rio Púngue.

Com base nos modelos calibrados e validados, foram estabelecidos caudais de cheia analisando a situação actual e futura para períodos de retorno de dois e vinte anos. Foram elaborados mapas de inundação para produzir mapas de zonas esperadas de cheias incluindo diagramas de incertezas com indicação de secções de maior e menor certeza. No presente relatório são apresentados resultados para ambos períodos de retorno das regiões (alvo) seleccionadas enquanto que os mapas de cheias, cobrindo o modelo completo estão anexos em formato pdf e tamanho A0. Os mapas poderão ser usados para identificar áreas propensas a cheias mas não deverão ser usados para definir áreas que não estão sob o risco de cheias (i.e. os mapas são destinados a identificar áreas de risco mas não para áreas seguras) devido ao alto nível de incertezas proveniente dos dados de “input” do modelo. Para efeitos de planeamento, em termos de planos de desenvolvimento, estratégias de mitigação, ou gestão regional de desastres naturais, os resultados deste relatório foram concebidos para ser usados conjuntamente com estudos detalhados sobre Avaliação do Risco de Cheias (FRAs) a ser elaborados para a respectiva área de interesse. Devido a falta de dados disponíveis, não foi possível realizar a Avaliação de Risco de Cheias (FRA) dentro das três bacias. Para dar uma visão geral da necessidade de dados de “input”, da metodologia geral e dos resultados, foi usado a título exemplar, um modelo hidráulico de FRA bidimensional.

De uma forma geral, os mapas apresentados são melhores que os mapas anteriores, pelo facto de os cálculos hidráulicos e mapas de inundação terem maior precisão devido a incorporação de estimativas da profundidade do canal e correcções do Modelo de Avaliação Digital (DEM) nas florestas e áreas de infraestruturas densas. Para além disso, os mapas para cenários de mudanças climáticas e contem avaliações de incertezas espacialmente distribuídas. Pelo nosso conhecimento, isto não se encontrava disponível antes do presente estudo.

Para melhorar a situação de cheias, foi proposto o conceito “making room for water” Os resultados de uma análise profunda da situação e debates com várias partes interessadas, mostram que estruturas de protecção contra cheias serão inevitáveis numa escala local para locais de alto valor mas deverão ser empreendidos esforços para minimização destas (estruturas físicas) e focalizando mais em abordagens holísticas, a conservação das bacias hidrográficas

através de políticas apropriadas para as quais as directrizes principais já foram traçadas. É importante perceber que a crescente ocorrência de cheias pode ser acelerada pela construção em larga escala de obras de protecção contra cheias que irão aumentar a probabilidade de ocorrência de cheias à jusante da zona de conservação da bacia hidrográfica. Por outro lado, traria largos benefícios, não apenas com a redução de cheias mas equalizando os caudais anuais e aumentando a disponibilidade de água para a agricultura. Por forma a atingir as metas de protecção contra cheias, várias medidas de protecção e mitigação foram debatidas, descritas em pormenor e com as respectivas estimativas de custo. Ficou claro que sob o ponto de vista de custo-benefício, a abordagem holística e de longo prazo para a conservação de bacias é preferível que a execução de estruturas físicas de protecção contra cheias. Estão providenciadas as respectivas sugestões de políticas em detalhe. Dada a situação em Moçambique, a implementação de tais políticas necessitaria de grandes esforços a nível administrativo tanto do governo central, assim como das administrações locais.

No que diz respeito as estruturas inevitáveis de defesa (contra cheias) para áreas que já foram desenvolvidas em zonas propensas a inundações, é de realçar que os investimentos devem ser debatidos caso a caso considerando uma visão holística da situação de toda a bacia hidrográfica. A melhor opção para aumentar a resiliência das comunidades as cheias é vista como uma combinação de intervenções técnicas de pequena escala e um aumento em grande escala da retenção através da conservação das bacias. Múltiplos benefícios adicionais poderão ser atingidos promovendo a construção de descarregadores de superfície e pequenas barragens ao longo dos afluentes, o que melhorará o abastecimento de água bem como promoverá a criação de áreas de retenção, se efectuados com base nos respectivos princípios de operação. De acordo com o conceito *viver com cheias* "living with floods", a seguinte combinação de intervenções seria aconselhável:

1. Pequenos diques, plataformas e protecção das comunidades
2. Conservação da bacia à montante
3. Desenvolvimento de políticas apropriadas
4. Construção de descarregadores e de pequenas barragens para retenção de cheias
5. Planeamento adaptado para grandes barragens
6. Desenvolvimento de sistemas de Previsão e aviso em combinação com sistemas de alerta
7. Promover a preparação da população para tais eventos

2.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA

São apresentados em seguida, uma breve visão de cada bacia e os modelos usados. A extensão do modelo foi derivada dos mapas históricos de cheias sobrepostos ao DEM. Onde necessário, os limites foram delineados ao longo de linhas imaginárias, que não poderiam ser galgadas por águas das cheias e ao longo de fronteiras onde as inundações são influenciadas pelos afluentes.

2.3.1 O Rio Zambeze

A bacia hidrográfica do Zambeze com 1,390,000km² de superfície é a quarta maior bacia hidrográfica em África com a Zâmbia, Angola, Namíbia, Botswana, Zimbabwe e Malawi contribuindo com as suas águas para Moçambique (Banco Mundial 2010).



Figura 2-1: Fotografia aérea do rio Zambeze no cruzamento entre a Namíbia, Zâmbia, Zimbabwe e o Botswana
(fonte: Wikimedia Commons)

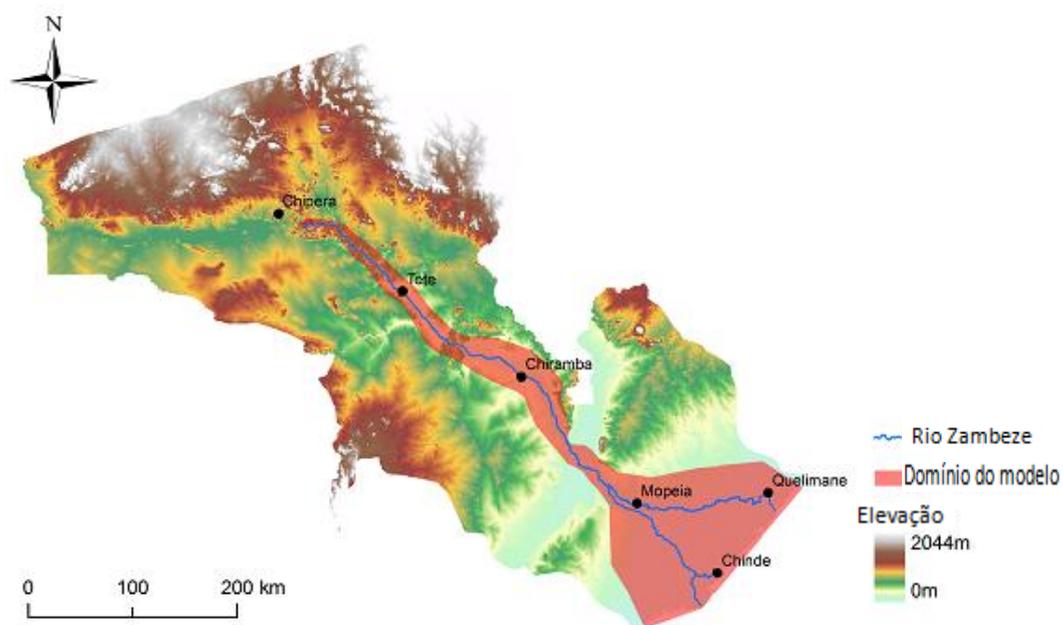


Figura 2-2: Modelo de Elevação Digital (DEM), principais aglomerados e o modelo do rio Zambeze

A construção da barragem de Cahora Bassa em 1974 resultou na alteração do regime do escoamento, mas não poderia impedir a ocorrência de cheias (Beilfuss 1999). Cheias severas recentes ocorreram em 2001 e 2008. No âmbito de uma análise hidrológica detalhada da bacia do Zambeze, a monitoria do escoamento na bacia é criticada, particularmente pela falta de uma contínua colheita de medições nas secções transversais estáveis. (Beilfuss e DosSantos 2001).

2.3.2 O Rio Púngue

A bacia hidrográfica do Púngue com 31,300km² de superfície localiza-se na sua maioria em Moçambique. Os 5% da sua área localizados no Zimbabwe, contribuem, não obstante, com um caudal considerável resultante das excessivas chuvas naquela região (Van der Zaag 2000). O Rio Púngue tem sofrido cheias frequentes nos anos recentes. Em 2001, 2004, 2008 e 2010 o nível de água atingiu a altura de cheias (DFO 2011, BBC 2001). Do lado Moçambicano do Rio Púngue, não foram construídas grandes barragens. Existem apenas 19 represas para irrigação (GRM e GRZ 2006).



Figura 2-3: Cheias no baixo Púngue
(Fonte: GRM and GRZ 2006)

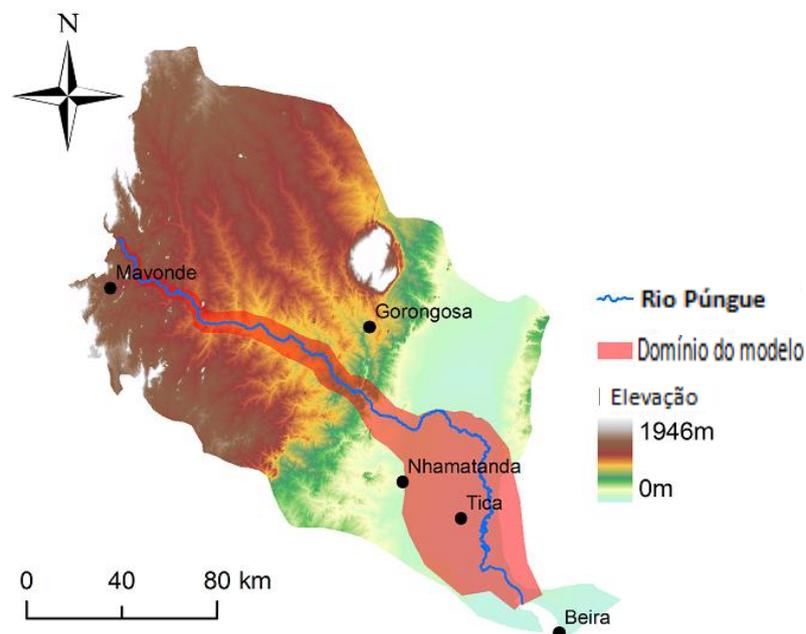


Figura 2-4: Modelo de Elevação Digital (DEM), principais aglomerados e modelo do Rio Púngue

2.3.3 O Rio Limpopo

A bacia do Rio Limpopo com 415,000 km² de superfície é partilhada pela África do Sul, Botswana, Zimbabwe e com um quinto em Moçambique (RCSA e USAID 2002). Não existem grandes barragens ao longo do rio (CGIAR 2003). O Rio Limpopo não tem tido cheias frequentes nos anos recentes, mas regista-se a catástrofe: As cheias de Fevereiro do ano 2000 causaram cerca de 1000 mortos e 700.000 deslocados (LBPTC 2010).



Figura 2-5: Fotografia Aérea do Rio Limpopo em Março de 2000 após as cheias devastadoras, sul de Moçambique
(Fonte: Wikimedia Commons)

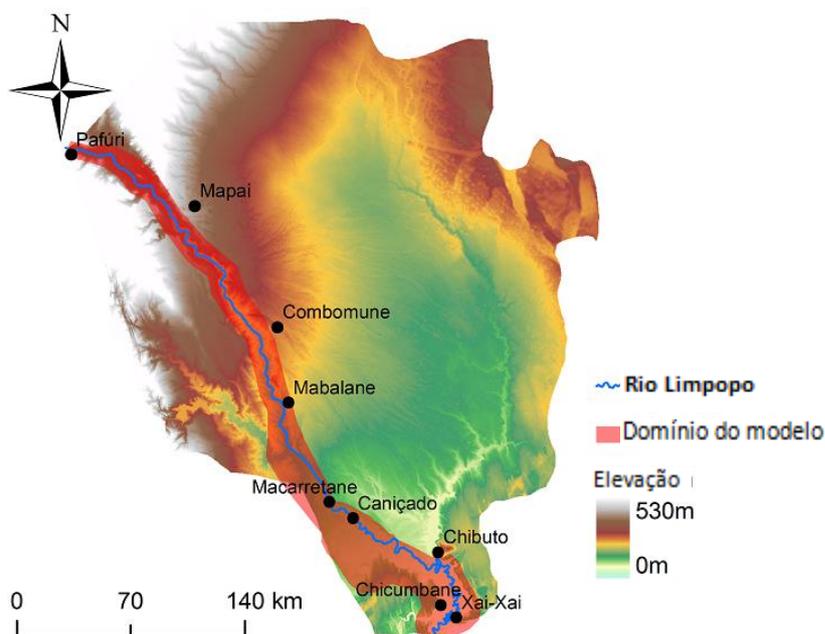


Figura 2-6: Modelo de Elevação Digital (DEM), principais aglomerados e modelo do Rio Limpopo

2.4 METODOLOGIA

2.4.1 Análise de Dados

Para permitir a aplicação, adaptação e utilização do modelo no futuro, para evitar a duplicação de trabalhos anteriores e devido a restrições orçamentais, os dados foram colhidos tanto quanto possível do público, de fontes remotas e de relatórios disponíveis e estudos anteriores. Neste capítulo, são descritos os métodos através dos quais foram verificados os dados quanto a sua consistência e fiabilidade. Os dados necessários para a elaboração do modelo são a geometria do rio derivada dos dados topográficos, batimetria da bacia, rugosidade da superfície do terreno, caudal distribuído espacialmente tomando em conta a referência e cenários de mudanças climáticas.

Dados Topográficos

Os dados topográficos são usados para calcular a geometria do canal do rio e batimetria da bacia para a preparação dos cálculos hidráulicos. Estes são os dados mais importantes para um modelo hidráulico (CASAS et al. 2006) e portanto, foram feitos testes exaustivos de modo a encontrar a fonte óptima de dados e melhorar a qualidade dos mesmos. Tendo em conta que não existe orçamento para obtenção de dados topográficos, o acesso é restrito aos modelos de elevação digital (DEMs) do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 2000, Jarvis et al. 2008) com uma célula de grelha de 90m de intervalo ou da Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER 2011) com 30m de intervalo de célula de grelha. Foi efectuada uma avaliação da precisão do SRTM e do ASTER usando diferentes métodos de testagem. Uma comparação com 678 pontos de elevação dos dados revelou que o SRTM funciona ligeiramente melhor na escala nacional. Ambas bases de dados evidenciam enorme fraqueza na precisão da elevação absoluta com um desvio médio vertical de todos os pontos do SPOT de -43.5m e -48.9m para o SRTM e ASTER DEM respectivamente. O SRTM igualmente mostra melhor desempenho na descrição de redes digitalizadas de vazões e limites da bacia, tendo por esse motivo sido usado neste estudo. Em Outubro de 2011 foi disponibilizada uma base de dados melhorada ASTER dataset (ASTER v.2) depois de ter sido concluída a avaliação de dados. Entretanto, o ASTER v.2 foi testado no rio Zambeze e constatou-se que os testes da bacia e de desempenho delineação das linhas de fluxo de caudal produziu resultados similares que os descritos acima, com a base de dados derivados do SRTM representando o modelo superior de elevação neste caso.

Entretanto, as incertezas no SRTM (10 m relativos e 16 m de precisão vertical absoluta) levou a uma descrição problemática do eixo central do caudal e seus perfis longitudinais a montante e a jusante das três bacias hidrográficas em estudo. A imprecisão na distribuição das elevações foi melhorada com recurso a um caminho de caudais hidrologicamente corrigido. A *Figura 2.7* faz a comparação entre os perfis originais (não processados) e os perfis processados ao longo dos três rios.

Qualquer objecto na superfície da terra é definido como estando ao nível do terreno no SRTM (e igualmente no ASTER DEMs). Isto é de particular importância em zonas de vegetação densa e aglomerados com infraestruturas altas e concentradas. Da mesma forma, a superfície da água não é penetrada mas sim definida como estando ao nível do terreno. Tais propriedades do DEM são desvantajosas para o mapeamento de cheias porque o nível real do terreno deve ser usado. As elevações em zonas com vegetação e cidades foram analisadas em comparação com zonas adjacentes, sem vegetação e áreas sem infraestruturas densas. Em média, a elevação dentro da

floresta ou cercanias da cidade é de 2.7 m e 2.3 m mais acima que directamente fora. Deste modo, os valores de elevação dentro das cidades e áreas de floresta foram corrigidos com o auxílio de métodos estatísticos.

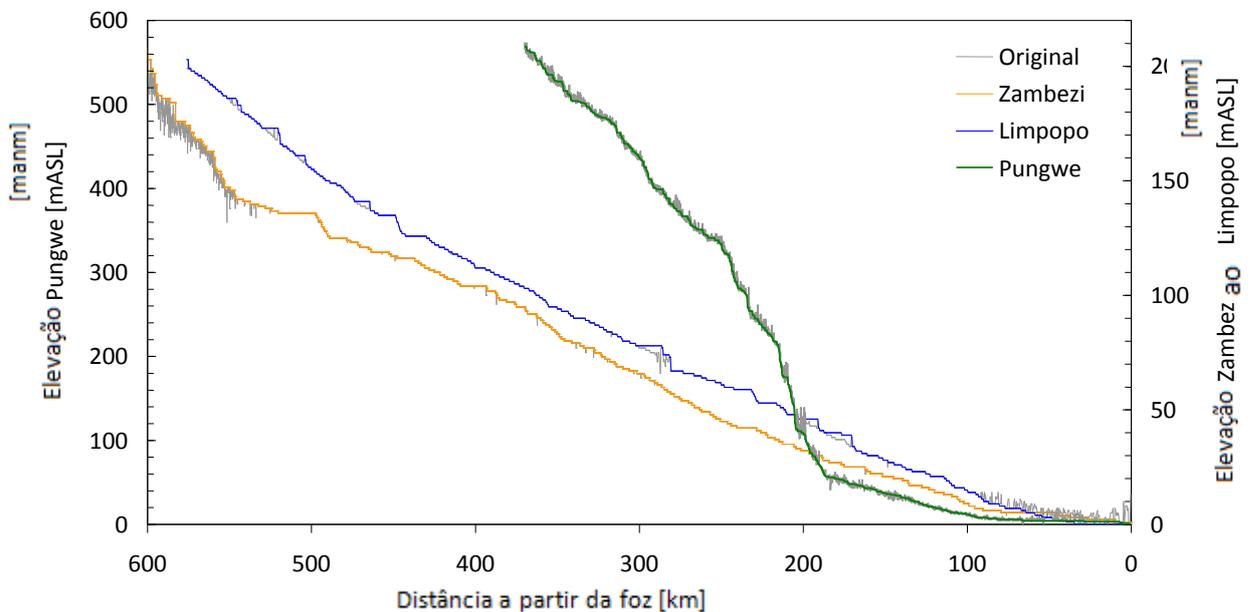


Figura 2-7: Perfis originais e corrigidos ao longo dos canais principais dos rios Zambeze, Limpopo e Púngue (Todos apenas dentro de Moçambique), note os picos e saliências ao longo do perfil original

A batimetria do canal foi aproximada de acordo com a seguinte metodologia: Ambas bordas dos rios e ilhas no caminho dos caudais foram digitalizadas a partir do Google Earth. Para cada secção transversal, a largura dos caudais foi calculada entre as bordas e se presente, larguras múltiplas entre as ilhas. A inclinação média do rio foi calculada a partir do SRTM ao longo do eixo central do rio em cada secção transversal. Riahi-Madvar et al. 2011 avaliaram oito equações de regime empírico que podem ser usadas para derivar a profundidade do caudal com base na inclinação e largura do leito.

A metodologia de Hey e Thorne's (1986) mostrou melhor desempenho em todos os aspectos e foi usada para derivar a profundidade do canal. A equação é aplicada a cada caminho de caudal em cada secção transversal e a profundidade resultante subtraída do valor mais baixo da grelha SRTM entre as bordas para ganhar elevação do leito. No anexo A2.1 é fornecida informação adicional. A configuração do canal é aproximada, com 45° de inclinação dos taludes e um leito horizontal. A Figura 2.8 apresenta uma parte de 40km de secção transversal do Zambeze, a 48km da foz em Marromeu, antes e depois da correcção com uma ilha entre as bordas. A equação de Hey e Thorne's é uma função empírica que necessita de verificações quanto a sua fiabilidade e calibração. Este processo iterativo é descrito na secção de calibração (capítulo 2.4.6) do HEC-RAS.

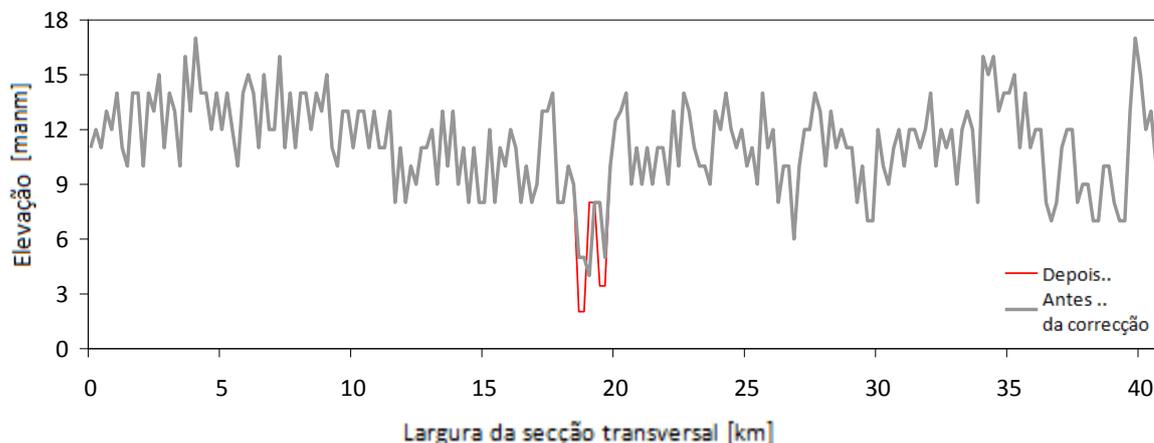
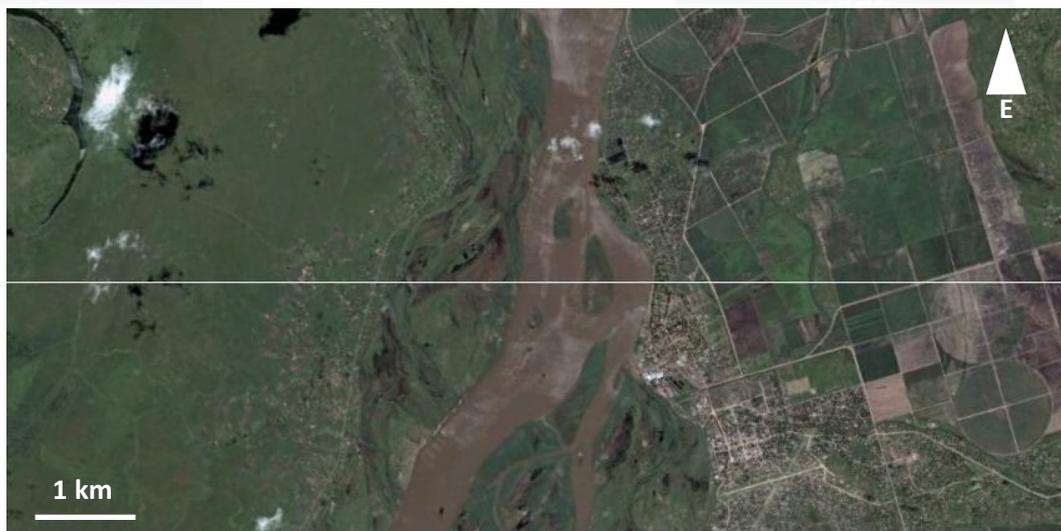


Figura 2-8: Imagem do Google Earth com a secção transversal (linha branca) em Marromeu orientado para leste (no topo) e a elevação do perfil antes e depois da correção (em baixo).

Nesta estação, a estimativa da profundidade da água à esquerda da ilha é cerca de três metros, à direita da ilha cerca de dois metros, enquanto a elevação da ilha mantém-se constante..

Rugosidade dos canais

Para o cálculo de perdas de carga no HEC-RAS são usados como factores de rugosidade, valores n da equação de Manning's. Foi criado um mapa de Manning's no sistema de informação geográfica GIS com base no mapa de cobertura da terra, dos taludes do canal digitalizados e do SRTM. Foram assumidos valores únicos para áreas com cobertura vegetal, solos desprotegidos, áreas urbanas e os canais de fluxo hídrico de acordo com CHOW 1959. Os valores de rugosidade para os canais foram distinguidos por três classes de inclinação de leito conforme definido por Rosgen (1994). Todas as classes de inclinação e seus valores n de Manning's estão apresentados com banda de incertezas na *Tabela 2-1*.

Tabela 2-1: Classes de Rugosidade e seus respectivos valores de Manning's n*(de acordo com CHOW 1959)*

Propriedades da superfície	Manning's n	Banda ±
Canal inclinado >4%	0.07	0.03
Canal médio 2%-4%	0.04	0.02
Canal plano <2%	0.035	0.02
Floresta densa	0.12	0.04
Floresta aberta	0.08	0.02
Plantas aquáticas	0.10	0.03
Áreas desprotegidas	0.03	0.01
Povoações	0.05	0.02
Plantas	0.04	0.01
Capim	0.04	0.01
Arbustos	0.05	0.02
Moitas	0.15	0.04

Informação de caudais de referência

Todos os dados históricos de caudais foram filtrados e cuidadosamente avaliados. A fiabilidade e qualidade dos dados de caudais disponíveis é problemática. Foram constatadas várias inconsistências como por exemplo, grande discrepância de caudais nos mesmos locais ou medidores à jusante indicando muito menor caudal que os medidores à montante. Outros estudos chegaram a mesma conclusão: Beilfuss e Dos Santos (2001) afirmam que todos as leituras de descargas no Zambeze devem ser considerados aproximadas. SWECO et al. (2004) avaliaram as 26 estações hidrométricas no Púngue e constataram que apenas seis se encontravam operacionais, das quais três localizam-se em locais muito importantes. Entretanto, uma delas não é acessível durante o período de cheias. Apenas cinco estações têm secções transversais relativamente estáveis. De acordo com o LBPTC (2010), a maior parte dos dados de escoamento é de fraca qualidade devido as secções transversais instáveis nas estações hidrométricas da bacia do Limpopo. Quase todos os afluentes dos canais principais não têm instrumentos de medição. Para além disso, o cenários de cheias para os quais os modelos poderiam ser calibrados têm ainda menor cobertura de dados, tomando em conta que algumas estações não têm leituras feitas durante esses períodos. Não será portanto, possível simular eventos históricos específicos com base nas medições de caudal tiradas das estações hidrométricas.

Para períodos mais longos e de maior confiança, RMSI (2009) derivaram períodos de retorno de caudais de cheia para os maiores rios de Moçambique. Conjuntamente com valores adicionais de caudais obtidos da literatura e da DNA (2011), foram definidos vários cenários de caudais de referencia. Estes valores de caudais incluindo o mínimo, esperado e máximo estão apresentados em sumário no anexo A.2.2 (*Tabela A2.2.1*).

Mudanças climáticas e sua influência nos caudais de descarga

Os dados de projecção de caudais para um cenário de mudanças climáticas para 2045-2065 foram disponibilizados na fase I do relatório (INGC 2009). O cenário de mudanças climáticas usado para aquele estudo foi o SRES A2, cenário de emissão calculado a partir de sete Modelos Climáticos Globais (GCM). Os dados do GCMs reescalados para o nível regional e usados para a simulação de um modelo hidrológico em fases diárias. As diferenças entre a referência (1961-2000) e o período projectado foram usadas para calcular a percentagem de diferença de caudais. Estas mudanças de caudais estão disponíveis em formato shapefile e cobrem a área de Moçambique a um nível de sub-bacia, com uma área de 1,280 km² em média. Estão incluídos na base de dados dois períodos de retorno de caudais de cheia: (1) cheia típica com um período de retorno de cerca de dois anos e (2) máxima cheia com um período de retorno de cerca de 20 anos.

Foram distinguidos dois impactos de mudanças climáticas nestes caudais de cheias com conhecidos períodos de retorno: Primeiro, a mudança na frequência de cheias pelo aparecimento de eventos mais frequentes. Uma maior frequência de cheias no futuro significa que a probabilidade de ocorrência uma certa cheia num ano particular aumenta. As mudanças na frequência de cheias está incluída nos dados da Fase I, embora sem distinção dos diferentes períodos de retorno, mas sim para “cheias” no geral. Este valor de mudança de frequência para cada bacia foi usado para atribuir novas probabilidades aos caudais de períodos de retorno originais. Voltando para trás, o cálculo para períodos de retorno fixos (2 e 20 anos), resulta num novo valor de caudal que é maior em caso de subida da frequência de cheias e menor se a frequência de cheias diminuir. De um modo geral, no Zambeze uma pequena descida de frequência de cheias é previsível o que significa uma descida nos caudais de cheia em cerca de 2.8%. Tanto no Púngue como no Limpopo a subida de frequência esperada leva a um crescimento de caudais na ordem dos 8.1% e 5.5%. Esta informação baseia-se no INGC 2009, onde é descrita a diferença no caudais de cheia entre a referência histórica de base (1961-2000) e o cenário de mudanças climáticas (2045-2065).

Para além destas mudanças de caudais resultantes da frequência de cheias, o segundo impacto de mudanças climáticas nos caudais de cheia é a mudança directa de caudais através de eventos mais intensos. A distribuição espacial dos valores de mudança de caudais está apresentada na *Figura 2.9* para períodos de retorno de 2 e 20 anos. Como pode ser constatado, mesmo as sub-bacias vizinhas têm tendências contrárias. É questionável se as mudanças climáticas têm impactos tão divergentes numa escala de menos de 50 Km. O desvio padrão de mudanças de caudal, calculado igualmente para cada ponto ao longo dos canais principais foi introduzido como uma medida para a avaliação desta dispersão nas tendências da base de dados.

Terminologia: Período de Retorno

O período de retorno é uma medida estatística que define o intervalo entre eventos, neste caso cheias nos rios. O número de anos associado pode supor uma ocorrência regular de eventos, mas deve ser realçado que é apenas um valor probabilístico. O inverso do período de retorno em anos representa a probabilidade de ocorrência num ano apenas. Por exemplo, uma cheia com um período de retorno de cheias de 20 anos ocorre com uma probabilidade de 0.05 em qualquer ano. Assim, na realidade tal evento pode ocorrer em dois anos consecutivos ou não ocorrer uma única vez em 30 anos. Quanto mais longo for o tempo histórico de colheita de dados melhor será a qualidade dos dados hidrológicos e mais exacta será a definição de período de retorno de caudal de cheias. Probabilidades estatísticas são usadas para extrapolar caudais de cheia de uma década de historial para verificar eventos muito raros com períodos de retorno de 500 ou mesmo de 1000 anos.

Uso da Água e Escoamento Superficial

A disponibilidade de água à jusante pode ser influenciada por muitos factores. Em muitos casos a disponibilidade de água à jusante não é largamente influenciada pelo uso da água à montante mas sim, pelas mudanças no sistema de escoamento. Em particular, mudanças no uso da terra podem ter forte impacto no escoamento.

Para o potencial corrente de análise de cheias, o futuro uso da água à montante ou mudanças no uso da terra não foi tomado em consideração devido a limitação nos dados disponíveis, a incerteza das futuras mudanças e o objectivo de avaliar as situações de cheias resultantes das mudanças climáticas. Os resultados mostram um impacto limitado nos períodos de retorno avaliados (2 e 20 anos). A situação poderá ser diferente para outros períodos de retorno. Estas conclusões evidenciam a importância de avaliar estes bem

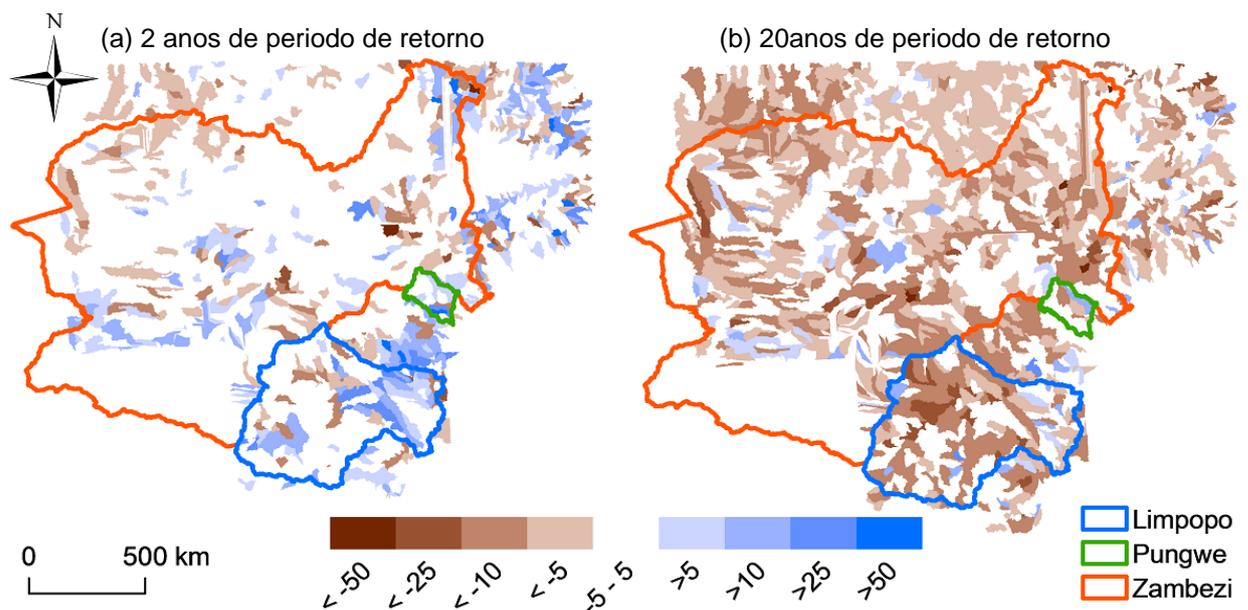


Figura 2-9: As mudanças de caudal dos rios em sub-bacias individuais sob pressão das mudanças climáticas comparados com a referência histórica para períodos de retorno de caudal de 2 e 20 vinte anos (dados do INGC 2009).

Para o período de retorno de 2 anos é visível uma tendência nas bacias do Púngue e Zambeze, enquanto para o período de retorno de 20 anos são previstos decrescentes caudais de cheia pelo INGC 2009. Note a grande variação ao longo das sub-bacias vizinhas.

Os dados exibidos na base de dados são usados para mudanças de caudais para simular os cenários climáticos nos modelos hidráulicos. Ao longo dos canais principais do Zambeze, Pungue e do Limpopo a área de contribuição foi calculada e os valores de mudança de caudais exibidos na Figura 2.9 (os valores foram calculados em media nestas áreas). Isto resultou na mudança de caudal projectado para cada ponto ao longo dos canais principais. Estes valores foram estabelecidos por cima da mudança de caudal causada por eventos mais frequentes acima descritos. A Figura 2.10 exhibe o resultado dessa análise de montante a jusante. Mudanças fortes e bruscas são causadas pelos afluentes cujos valores médios na sua sub-bacia diferem dos valores a montante. Geralmente, as maiores bacias, Zambeze e Limpopo são mais estáveis devido a sua extensão enquanto o Pungue é fortemente influenciado por bacias singulares. Para o Zambeze, pode ser constatado que as cheias de baixa magnitude não mostram uma mudança distinta, enquanto dos caudais extremos de cheias espera-se uma redução. O desvio padrão está abaixo de 10% à montante e é incrementado pela bacia do Chire para 10%. Muitas partes da bacia do Pungue, particularmente as regiões à montante estarão sujeitas a um aumento de caudal de cheia com 2 anos de período de retorno mas o desvio padrão é muito alto com mais de 25 % na extremidade à jusante. Os caudais de cheia com 20 anos de período de retorno

aumentarão ligeiramente dentro do desvio padrão de menos de 10%. Na bacia do Limpopo, os caudais com períodos de retorno de 2 anos são susceptíveis a crescer em 10-12%, enquanto os caudais de cheia com 20 anos de período de retorno estão provavelmente reduzindo em 8-4%. Aqui igualmente os desvios padrão estão dentro de 10%.

Antecedentes Hidrológicos: Não Linearidade entre a chuva e o escoamento

A resposta dos sistemas naturais a queda pluviométrica é largamente não linear. Um único evento de chuvas pode não causar cheias durante um ano mas pode induzir a cheias durante outro ano. Da mesma maneira, um aumento na intensidade da chuva em 50% pode causar um aumento de escoamento em mais de 50%. A razão são as diferentes condições hidrológicas i.e. as condições antecedentes do teor de humidade do solo, as propriedades da vegetação com variações ao longo do ano ou condições climáticas variáveis. O desenvolvimento de uma relação entre a queda de chuvas e o escoamento superficial não é, por isso possível. Os modelos de mudanças climáticas podem dar uma tendência na mudança dos regimes de chuvas no futuro. Para obter-se mudanças plausíveis de escoamento com base nas mudanças de precipitação, é importante descrever o sistema hidrológico por modelos matemáticos que incorporam os processos hidrológicos e mais importante as condições limite.

Os dados apresentados na *Figura 2.10* são usados para calcular as mudanças de caudal esperada, mínima e máxima ao longo do canal multiplicando as mudanças pelos caudais de referência (*Tabela A2.2.1*). Os caudais de mudanças climáticas obtidos na extremidade à jusante dos rios estão sumarizados no anexo (*Tabela A2.2.2*).



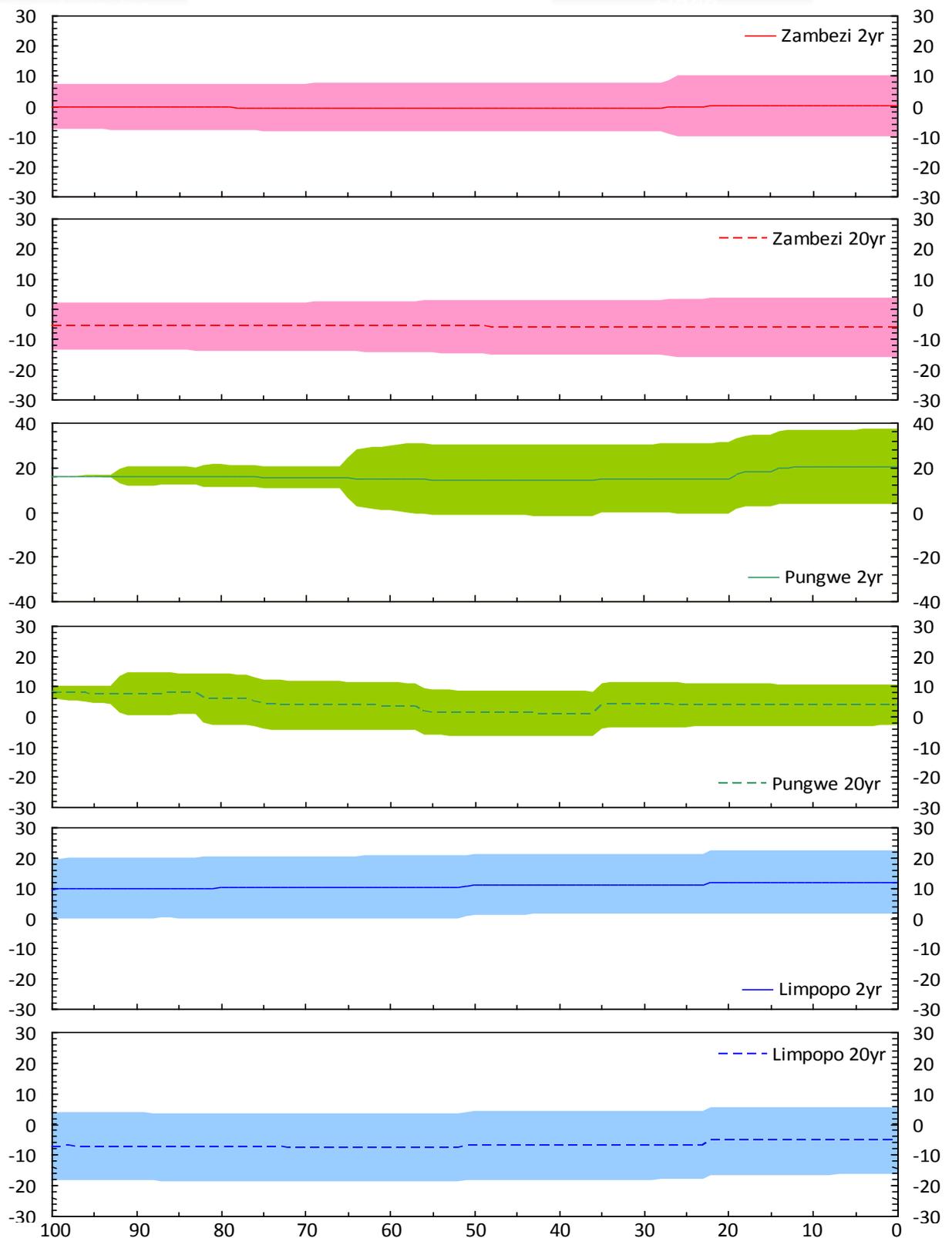


Figura 2-10: Mudanças de fluxo previstas entre os cenários de base e de mudanças climáticas (Eixo-y em %) ao longo dos canais principais (Eixo-x em % da distancia a partir da foz) para períodos de retorno de 2 e 20 anos; serie de desvio padrao em cores claras. Quanto mais estreita for a serie de desvio padrao, maior sera a concordancia das mudanças de fluxo previstas (linhas continuas ou tracejadas)

2.4.2 Avaliação de probabilidades/incertezas

A metodologia que incorpora dois níveis foi concebida para avaliar objectivamente as principais incertezas nas extensões de inundação modelizadas (Figura 2.11).

O nível 1 considera as incertezas das condições físicas. A rugosidade media (Tabela 2-1) e valores de fluxo com período de retorno médio (Tabela A2.2.1) são considerados os mais prováveis e são usados para simular as inundações de base previstas. Os valores de rugosidade alta e baixa e os valores mais altos e mais baixos de fluxo para períodos de retorno são usados para simular altos e baixos eventos de cheias de base. A incerteza é definida como a diferença relativa entre o evento alto, esperado e baixo normalizado ao longo do desvio padrão mais alto dentro de cada bacia.

A inundação de base prevista é usada no nível 2 para simulações de mudanças climáticas. As mudanças de caudais projectadas com o seu desvio padrão (Figura 2.10) conduzem-nos a eventos de mudanças climáticas, altos, prováveis e baixos. Uma vez mais, a incerteza é definida como a diferença relativa entre eventos altos, esperados e baixos normalizados ao longo do desvio padre mais alto dentro de cada bacia.

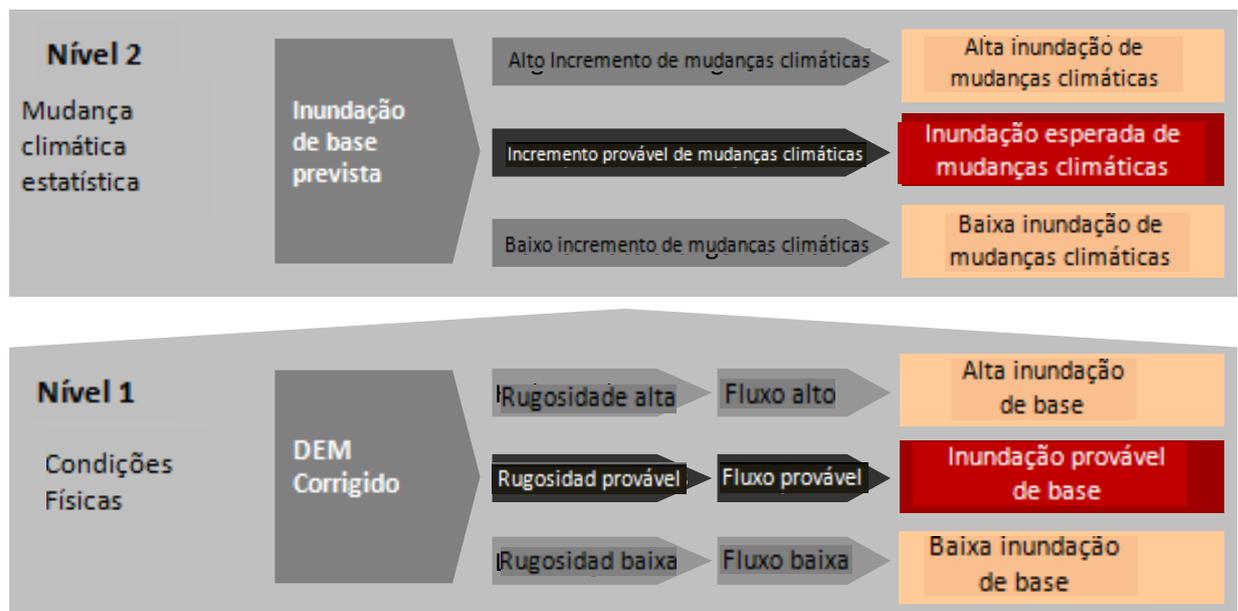


Figura 2-11: Valores de input baixos, prováveis e altos para a simulação de base (Nível 1) e de mudanças climáticas (Nível 2)

2.4.3 Descrição do modelo matemático usado

O modelo hidráulico usado para a análise é o HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center – River Analysis System, USACE 2010). O HEC-RAS simula o fluxo unidimensional constante e instável em canais à céu aberto ao longo das secções transversais. Para cálculos de fluxo constante ele aplica a equação de força cinética (momentum) no caso de fluxo supercrítico e em estruturas hidráulicas. Para cálculos de perfil básico ele resolve a equação de energia pelo método de passo padrão. O fluxo instável é calculado pela equação 1D Saint Venant. Nos cálculos de eventos de cheias, o HEC-RAS divide as secções transversais em partes do canal e da várzea e calcula os resultados separadamente.

O HEC-RAS é largamente aplicado em estudos de inundações internacionalmente. Os cálculos hidráulicos unidimensionais em fluxo de estado estacionário e a interface amigável permitem simulações relativamente rápidas e estáveis para rios longos. Entretanto, os procedimentos de cálculo unidimensional usam suposições importantes como se segue. (1) Os trajectos do escoamento têm de ser definidos para o modelo e são estáticos durante as simulações do modelo. Não obstante, na realidade, o trajecto de escoamento para uma cheia com períodos de retorno diferentes pode ser diferente. Trajectos de escoamento complexos em ambientes multifacetados tais como em áreas urbanas não podem ser representados. (2) O nível da água é sempre horizontal numa secção transversal o que leva-nos a erros de cálculo da superfície de água, particularmente nas curvas. (3) Os mapas de inundação da várzea (floodplain) usando elevações da superfície da água nas secções transversais produz resultados duvidosos entre as secções transversais tomando em conta que as elevações da superfície de água são interpoladas linearmente. (4) Os mapas de inundação da várzea usando resultados de modelo unidimensional leva a que todas as áreas de inundação da secção transversal fiquem abaixo do nível real da água porque os fluxos laterais e a verdadeira conexão hidráulica entre as secções de baixa altitude da várzea não podem ser representadas. Isto traz dificuldades, particularmente quando mapeia-se bacias largas.

Os modelos bidimensionais não podem ultrapassar a maior parte destas desvantagens (Tayefi et al. 2007) enquanto outros estudos constataram que estas desvantagens não são severas (Hicks and Peacock 2005). O poder informático disponível, no entanto ainda limita a sua aplicação como a medida das células no canal precisa de ser suficientemente pequena para representar a batimetria. Isto leva-nos a centenas de milhar de células para rios longos e a uma excessiva ou mesmo impossível carga computacional. A simulação com ambos modelos 1D e 2D seria preferível, porque secções inclinadas, longas e topograficamente distintas são apropriadas para o HEC-RAS. As várzeas largas poderão então ser representadas por um modelo 2D. O Zambeze desde Cahora Bassa até a confluência do Chire e o Delta do Zambeze seria um exemplo de tal aplicação 1D-2D. Durante a fase de modelização dos projectos, surgiram problemas aquando da modelização do Zambeze de forma unidimensional com o HEC-RAS porque as limitações acima descritas levaram-nos a resultados exorbitantes no delta. Foi decidido dividir o domínio do HEC-RAS do Zambeze e representar o delta do Zambeze por um modelo bidimensional. O modelo Adaptive Hydraulics (AdH) desenvolvido pelo USACE Engineering Research and Development Center (Berger et al. 2011) é um instrumento ideal para essa tarefa. Este estará dinamicamente ligado ao HEC-RAS na próxima versão do HEC-RAS (Brunner 2011). O AdH resolve as equações bidimensionais de águas rasas numa malha de elemento triangular finita. A exclusividade do AdH reside na sua adaptação automática da resolução da malha e o tempo de cada passo durante as simulações do modelo de modo a considerar os limiares de precisão definidos pelo usuário. O Pré e o pós processamento são desenvolvidos pelo Sistema de Modelização de Águas Superficiais (SMS-Surface Water Modelling System) ou ArcADH, que é uma interface do usuário do AdH para o ArcGIS9 (Kiesel et al. 2011). No presente relatório o AdH e o ArcADH são usados para o Delta do Zambeze e a Avaliação do Risco de Cheias- Flood Risk Assessment.

2.4.4 Estruturação do Modelo

Este capítulo explica a metodologia do modelo e o processamento dos dados de entrada (inputs) e dados de saída (outputs). Foram estabelecidos três modelos individuais HEC-RAS para os cursos principais dos rios Zambeze, Pungue e Limpopo. Para as simulações, foram introduzidos dois tipos de dados nestes modelos HEC-RAS: geometria e condições de fluxo de contorno. Na

Tabela 2-2 é apresentado um sumário dos ficheiros de entrada e dados necessários para as simulações com o HEC-RAS e como são produzidos.

Tabela 2-2: Sumário dos dados usados para estabelecer os modelos HEC-RAS

Requisitos de dados para o HEC-RAS	Tipo	Fonte
Linhas das margens	Geometria	Digitalizado do Google Earth
Eixo central de fluxo	Geometria	Calculado das linhas das margens
XS linhas de corte	Geometria	Algoritmo de geração automática
Elevação	Geometria	Dados de elevação do SRTM corrigidos
Rugosidade	Geometria	Mapa de uso da terra com valores de Chow 1959
Fluxo de base	Fluxo	Períodos de retorno calculados a partir do RMSI, regionalização
Fluxo de mudanças climáticas	Fluxo	Fase 1 do INGC, mudanças de fluxo previstas
Condições de contorno a montante	Fluxo	Cálculos da profundidade normal baseados na inclinação do leito
Condições de contorno a jusante	Fluxo	Fase 1 do INGC nível do mar actual e previsto
Data de fluxo abaixo de secção cheia	Calibração/Validação	Imagem do Google Earth
Data de cheias e fluxos	Calibração/Validação	Relatórios históricos, DNA e outros relatórios
Relações entre fluxo e altura de água	Calibração/Validação	DNA
Mapas de inundação	Calibração/Validação	Observatório de cheias de Dartmouth

Para o modelo AdH no Delta do Zambeze, a topografia foi interpolada do ficheiro de geometria do HEC-RAS e do SRTM para a célula de 45m do DEM. As propriedades da superfície são aproximadas a partir do mapa de uso da terra para tomar em conta a rugosidade espacialmente distribuída, e os parâmetros de infiltração e evaporação. As propriedades da superfície são aproximadas a partir do mapa de uso da terra para tomar em conta a rugosidade espacialmente distribuída, e os parâmetros de evaporação e infiltração. Os contornos de fluxo à montante e o influxo de água foram tirados do HEC-RAS.

Dados Geométricos

O HEC-RAS requer a definição do domínio do modelo hidráulico. Estes dados são combinados no ficheiro de geometria. As linhas das margens são digitalizadas a partir de imagens do Google Earth. As secções transversais devem ser orientadas perpendicularmente a linha central de fluxo e tem de cobrir completamente as áreas do modelo com as várzeas acima descritas. O comprimento dos rios e o tamanho das várzeas resultam num grande número de secções transversais. Particularmente nas curvas, linhas sobrepostas são normalmente difíceis de evitar e devem ser desenhadas a mão. Para automatizar este procedimento, foi desenvolvida uma rotina para desenhar as secções transversais no ArcGIS num espaçamento definido pelo usuário e atribuindo a elevação, a rugosidade e a área de fluxo não efectivo para as linhas de secção transversal. A gama de diferente valores de rugosidade resulta em três ficheiros de geometria para cada rio. No anexo A2.2.3 é fornecida mais informação do procedimento.

Dados de Caudal

Devido a falta de hidrogramas de inundação para os canais principais e seus afluentes, não poderão ser rastreadas as ondas de cheia com cálculos de fluxo instável. Ao invés, as simulações de fluxo de estado estacionário são feitas usando os picos de fluxo máximo. Os caudais dos afluentes são aproximados usando a regionalização e a possibilidade do HEC-RAS's de simular diferentes valores de caudal ao longo do canal do rio com as secções transversais à jusante apresentando maiores valores de caudal que as secções transversais à montante. Os caudais de referência e os caudais de mudanças climáticas (*Tabelas A2.2.1 e A2.2.2*) são introduzidos no HEC-RAS. Para cenários de mudanças climáticas, as mudanças de caudal são calculadas para cada secção transversal individualmente dependendo da distribuição especial das mudanças de caudal previstas (*Figura 2.10*). As condições de contorno à montante são as profundidades normais calculadas a partir da inclinação de energia, que é aproximada da inclinação do terreno, sendo para o Zambeze (0.002), para o Púngue (0.003) e para o Limpopo (0.0006). As condições de contorno à jusante para o respectivo cenário são ilustradas nas *Tabelas A2.2.1 e A2.2.2*. A suposição necessária é de que as inundações com um certo período de retorno coincidem com as inundações do mar que tenham o mesmo período de retorno. Naturalmente que este não será sempre o caso, mas como os modelos de inundação de rios não podem simular inundações costeiras, esta suposição é mais razoável do que assumir o nível do mar como zero apenas.

2.4.5 Metodologia de mapeamento de Várzea

A Versão 4.1 do HEC-RAS tem o seu próprio software de mapeamento, o RAS-Mapper. Ele sobrepõe as elevações da superfície de água calculadas ao longo das secções transversais a um modelo de elevação digital (DEM) e atribui altitudes mais baixas do que a superfície da água como molhada e maiores altitudes como seco. A interpolação é feita entre as secções transversais e o resultado é exportado para o shapefile. O shapefile resultante deve ser verificado quanto a sua plausibilidade o que é feito com o uso do ArcGIS. Todas as áreas de secções transversais que estejam abaixo da elevação da superfície de água são indicadas como inundadas, independentemente da sua conexão hidráulica real ao canal principal. A definição das áreas de inundação que estão hidráulicamente apenas pouco conectadas ao canal principal depende da distância ao canal, das condições locais no que respeita as águas subterrâneas, características de uso da terra e do solo, precipitação e características topográficas de pequena escala. As inundações nestas áreas podem ser causadas por águas dos rios, mas igualmente por chuvas prolongadas. Se o teor de humidade do solo estiver próximo da capacidade de saturação, o escoamento superficial pode causar alagamento. Este fenómeno é observado nas bacias Moçambicanas onde partes das várzeas se tornam inundadas através do alagamento de escoamento superficial (Gosnell et al. 2001). Durante as cheias do Zambeze em 2001 isto foi observado por profundidades até 2m (Beilfuss e Dos Santos 2001). Como exemplo, a *Figura 2.12* mostra uma secção transversal representativa da várzea do Púngue. Pode ser visto que o canal (a 13km de distancia) situa-se numa região com altitude ligeiramente elevada. As áreas de depressão circundantes são indicadas como inundadas. Sob o ponto de vista topográfico, tais áreas estão provavelmente susceptíveis a alagamento por águas superficiais.

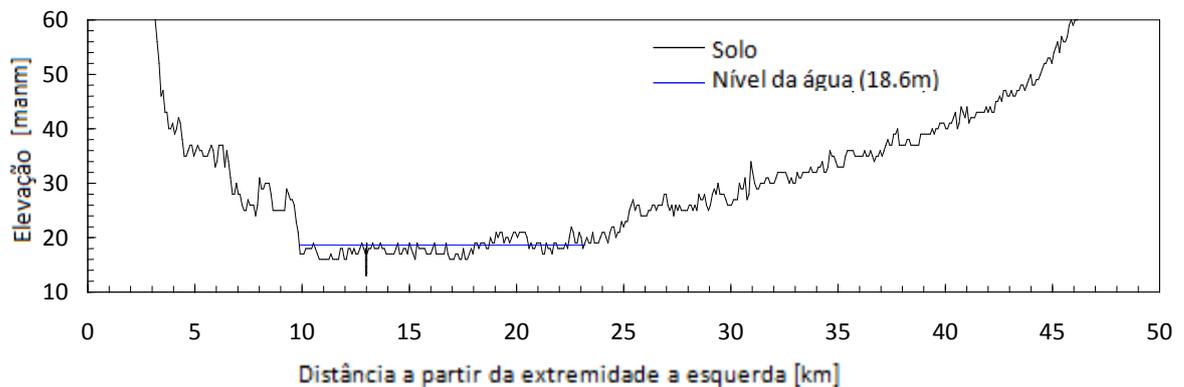


Figura 2-12: Seção transversal do rio Pungue, a 116km da foz. Note o canal a 13km, a área elevada a 20km e a região inundada indicada pela linha azul..

2.4.6 Calibração e validação do modelo

Calibrações das profundidades do canal

Os caudais Bankfull (*Tabela A2.2.1*) são usados para calibrar as profundidades do canal calculadas pela equação [2.1] (*Anexo A2.1.1*). O fluxo Bankfull é definido como o ponto em que o caudal enche o canal até ao topo das margens logo antes da água transbordar para a várzea. A profundidade do canal foi adaptada num processo iterativo para combinar razoavelmente com a descarga bankfull ao longo dos três rios. De uma forma geral, a equação de Hey e Thorne's sobrestimou as profundidades de caudal no Zambeze o que parece ser mais raso que o previsto. O rio foi dividido em 14 secções para as quais as profundidades foram adaptadas individualmente. Em média elas tiveram que ser reduzidas em 53%. As profundidades originais para o Pungue combinaram melhor, com adaptações necessárias em apenas quatro das oito secções e uma redução média em 21%. O Limpopo foi dividido em 15 secções, das quais, as profundidades foram reduzidas em 25% em média.

Comparação com os registos de caudal/altura

As medições de descarga/altura de água para os rios Zambezi, Pungwe e Limpopo foram fornecidas pela DNA (2011) para uma série de caudais. Infelizmente, apenas 3.8% dos registos/medições foram feitas na última década. Destas recentes medições, os caudais registados apresentam um desvio da curva usada em 58.4% em média. A *Figura 2.13* mostra os dados medidos em todas as estações hidrométricas (pontos cinzentos). A *Figura* deverá ser lida da esquerda para a direita e de cima para baixo. A ordem de medição nas estações ao longo dos canais principais é de jusante para montante. O número em parênteses rectos é o número das curvas de classificação usado ao longo dos anos (número em parênteses curvos). Os caudais representados nas medições foram introduzidos no HEC-RAS e os valores da relação caudal/altura modelados foram traçados no respectivo diagrama (quadrados vermelhos). Os resultados do modelo são melhores para as estações hidrométricas do Limpopo. Considerando a fraca qualidade dos dados usados na modelação e a maior parte das leituras com mais de dez anos, a diferença entre os dados medidos e modelados no Pungue e no Zambeze é igualmente satisfatória. A forma das curvas não está sempre de acordo com os dados medidos porque a geometria suposta do canal de 45 graus de inclinação de taludes e um leito de rio raso no modelo não pode coincidir com todas as secções transversais em todas as estações de medição. Foram previstos desvios para os valores mais altos de caudal/altura pois as medições nestas condições são incertas e difíceis de acompanhar.

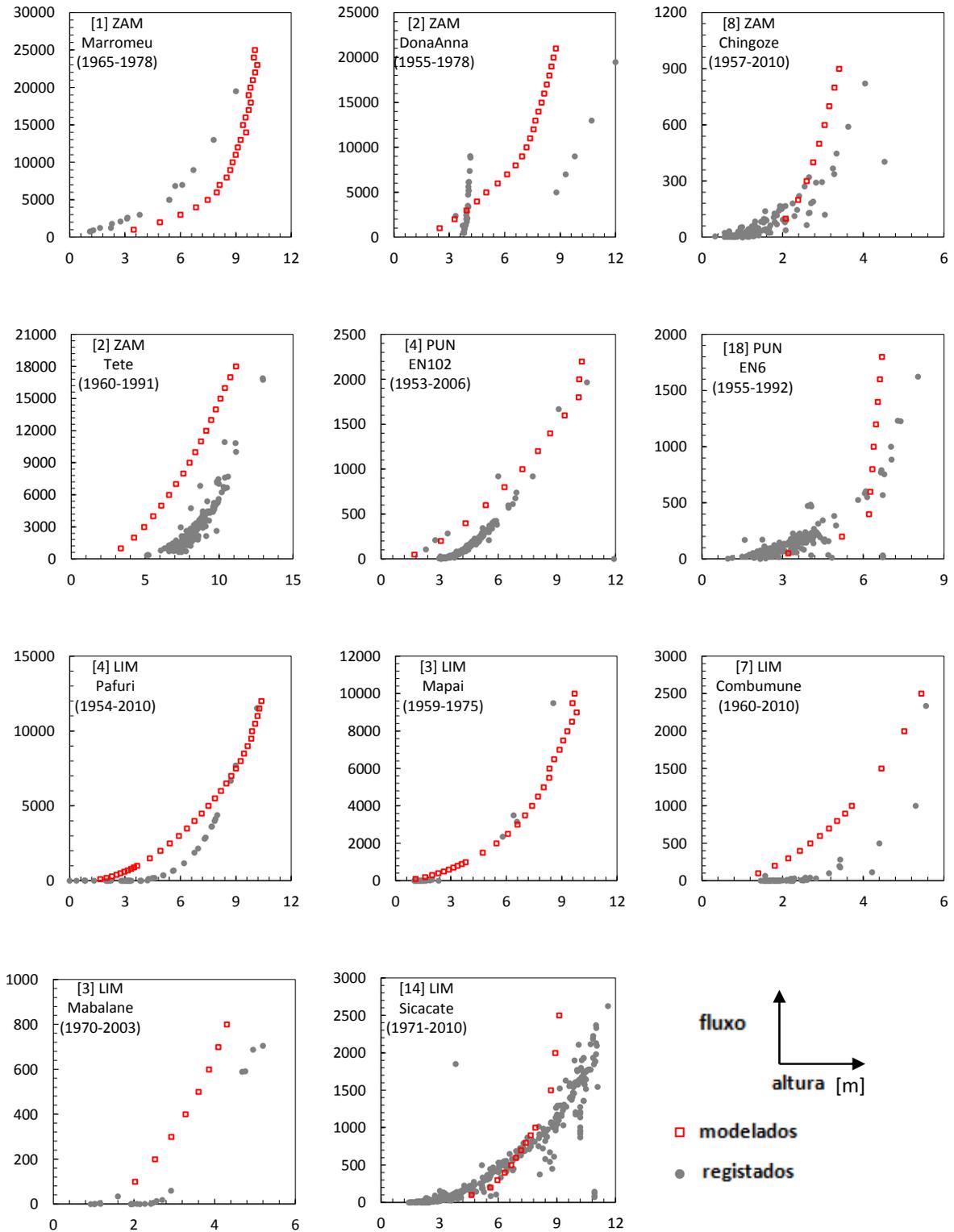


Figura 2-13: Comparação entre o fluxo e a altura de água modelados e registados (DNA 2011) (DNA 2011) fluxo/altura de água no Zambeze (ZAM), no Pungue (PUN) e no Limpopo (LIM) nas estações hidrológicas principais. Os desvios consideram-se como resultantes das diferenças entre a geometria das secções transversais reais e as secções estimadas

Comparação com eventos históricos de cheias

Imagens de satélite de eventos históricos de cheias estão disponíveis no Landsat e MODIS assim como no Dartmouth Flood Observatory (DFO 2011). Os mapas DFO mostram as áreas de inundação corrigidas e são as mais apropriadas para comparar as inundações observadas e as inundações modeladas. Uma banda de fluxos é modelada em três modelos HEC-RAS (*Tabela A2.2.1*) e o fluxo simulado é comparado com as áreas mapeadas de inundação. Os mapas do DFO foram digitalizados para permitir correção de áreas não plausíveis indicadas como inundadas, que são na sua maior parte sombras montanhosas. As áreas de sobreposição e não sobreposição entre inundações observadas e inundações modeladas podem ser calculadas. A *Figura 2.14* mostra os resultados das simulações, o mapa DFO e o domínio do modelo. A comparação visual indica boa combinação entre o alto e baixo Zambeze para a cheia modelada para ano 2008 com o HEC-RAS. As inundações do delta do Zambeze simuladas com o AdH são igualmente bem representadas. O modelo é capaz de similar rácios de fluxo fraccionado. Sobrestimavas de inundação podem ser vistas no canal principal. A parte mais baixa do flanco nordeste mostra algumas fraquezas na correcta localização da cheia mas geralmente pode igualmente ser considerada plausível. Para além das sobrestimavas nos 100 Km à montante e 30 Km à jusante, o HEC-RAS pode igualmente reproduzir a cheia 2000 (período de retorno) no Limpopo. De acordo com a *Tabela 2-3*, o desempenho no Zambeze (excluindo o delta do Zambeze) e no Limpopo é igualmente bom, porque mais de 80% da área inundada é coberta por área de inundação simulada e a magnitude das áreas modeladas e observadas é a mesma. Não obstante, no Pungue são observadas algumas dificuldades, onde o modelo sobrestima a inundação na parte do meio. No total, a área de inundação simulada tem quase o dobro da área observada (*Tabela 2-3*). Isto deve-se ao facto de que as áreas planas com elevação inferior a cota de fundo do leito do canal são consideradas inundadas (conforme discutido no Capítulo 2.4.5) o que não está indicado como inundado no mapa de Dartmouth.

Tabela 2-3: Comparação entre os eventos de cheia modelados (HEC-RAS) e observados (DFO)

Rio	Ano	Fluxo [m ³ /s]	Período de retorno aproximado [anos]	Área coberta pelo HEC-RAS e Área coberta pelo DFO [%]	Área coberta pelo DFO e área coberta pelo HEC-RAS [%]	Área do HEC-RAS dividida pelo DFO [%]
Zambezi	2008	33343	RP 500	83.3	83.3	99.9
Pungwe	2010	1703	RP 20	45.1	84.6	187.5
Limpopo	2000	9300	RP 500	81.1	80.5	99.3

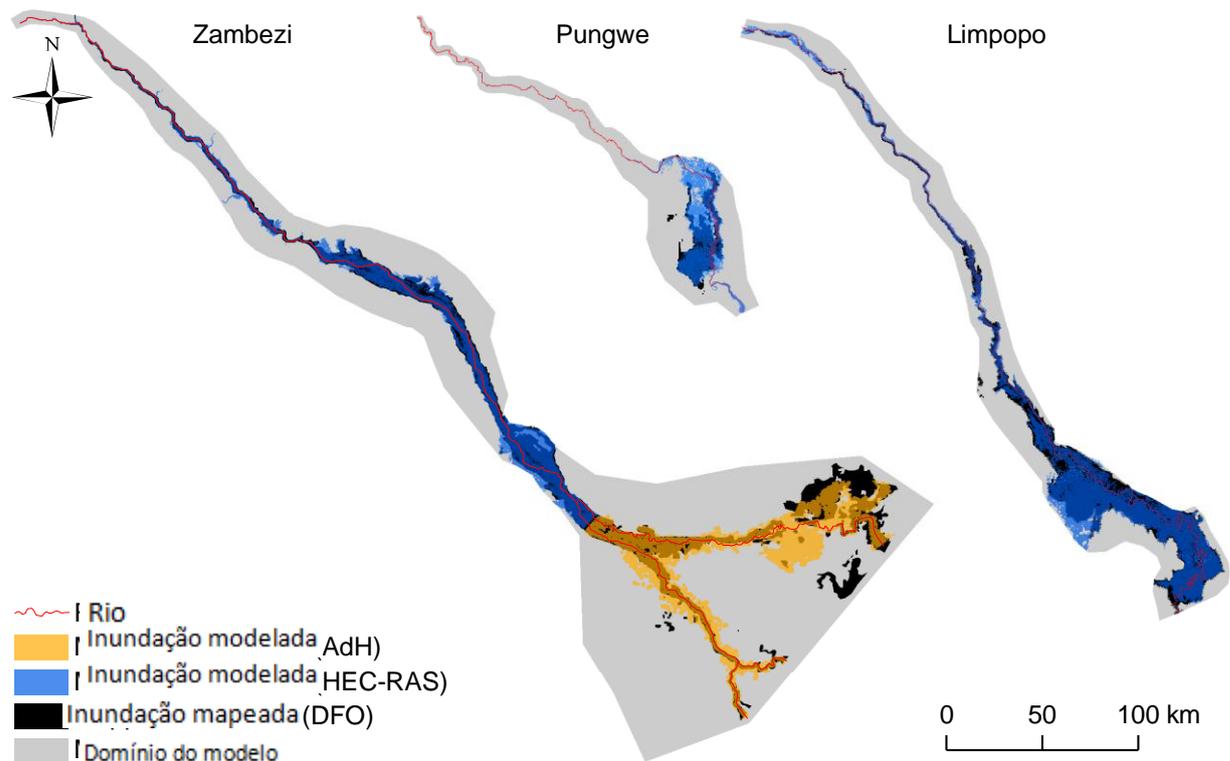


Figura 2-14: Inundação mapeada e modelada para eventos históricos de calibração do modelo (2008 Zambezi, 2010 Pungué, 2000 Limpopo).

As razões prováveis de desvios entre o previsto e o observado são inundações causadas pelas cheias costeiras, cheias de águas superficiais (Zambeze) e a designação das áreas de baixa elevação como inundadas (Pungué)

2.5 RESULTADOS DO MAPEAMENTO DE CHEIAS

Foram criadas quatro camadas de inundação de cheias os canais principais dos rios Zambezi, Pungwe e Limpopo: A inundação de base (1961-2000) cheias de 2 e 20 anos de período de retorno – e de eventos de mudanças climáticas (2045-2065) 2 e 20 anos de período de retorno. Os mapas consistem em quatro folhas cada para o Zambeze e o Limpopo (parte alta e parte baixa dos rios para inundação de base e eventos de mudanças climáticas) e uma folha para o Pungué (inundação de base e mudanças climáticas). Foram concebidos para impressão em papel de tamanho A0. Os shapefiles de inundação são sobrepostos aos mapas topográficos numa escala de 1:200,000 do Soviet Military, do SRTM, do canal digitalizado e nomes Ingleses das principais cidades. As áreas fora do domínio do modelo que não puderam ser incluídas na modelagem de cheias estão acinzentadas. Por isso, a inundação ou não inundação destas áreas não pode ser representada nos mapas. As inundações mostradas em azul e vermelho indicam que estas áreas estão potencialmente em risco de cheias para um período de retorno de 2 anos (com probabilidade de ocorrência de 0.5 por ano) e um período de retorno de 20 anos (com probabilidade de ocorrência 0.05 por ano). As estações hidrométricas são mostradas de 10 em 10 Km, começando com zero na foz. O mesmo principio é aplicado aos diagramas de incertezas incluídos nos mapas. Dessa forma, é possível mostrar a relação existente entre as inundações ao longo dos rios e as incertezas resultantes dos resultados numa estação em particular. Os diagramas resultam da avaliação de incertezas descrito na *Figura 2.11* e mostram uma relativa incerteza entre -1 e 1. Os valores mais altos (1 o -1) representam trechos com maiores incertezas

para o rio representativo. Os valores positivos indicam que é mais provável que as inundações mostradas subestimam a situação de cheias enquanto os valores negativos indicam que é mais provável que as inundações mostradas sobrestimam a situação de cheias. As incertezas de base incluem caudais e rugosidades que mostram um desvio da inundação esperada. A incerteza de mudanças climáticas inclui o desvio padrão das previsões de mudança de caudal com base na inundação esperada de base. Os mapas de cheias estão na mesma projecção que os mapas topográficos do Soviet Military (Transverse Mercator, Gauss Krueger Zone 6, Pulkovo 1942) incluindo a grelha em decimais de grau para orientação. Para esclarecimento, a descrição detalhada da legenda dos mapas topográficos Russos não foi incluída mas pode ser vista no USA-WO (1958).

Conforme pedido do cliente para focalizar-nos nos três locais Tete, Caia (ambos no Zambeze) e Chókwè (Limpopo) para a investigação de possíveis protecções contra cheias, as Figuras seguintes mostram detalhes dos mapas originais de risco de cheias para as três regiões tanto para fluxos de base como para fluxos de eventos de mudanças climáticas com períodos de retorno de 2 e 20 anos.

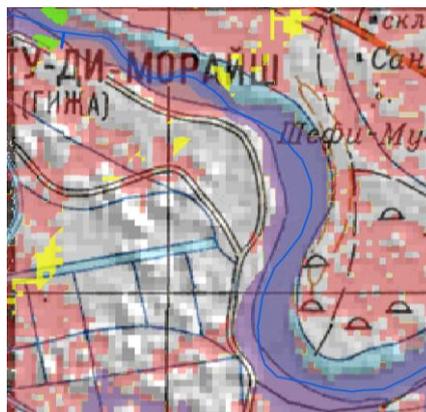
As Figuras 2.15 e 2.16 mostram a cidade do Chókwè no rio Limpopo. A cidade e áreas directamente adjacentes parecem não ser afectadas pelos fluxos de inundação com período de retorno de 2 anos. Entretanto para a cheia de 20 anos de período de retorno, as águas das cheias podem atingir a cidade. O diagrama de incertezas na estação hidrométrica 232 indica que a cheia de 2 anos de período de retorno é relativamente certa, o que significa que o caudal provavelmente se manterá no leito do rio para o fluxo modelado e rugosidade assumida. Incertezas entre +0.5 e -0.1 para um evento de 20 anos implicam que as inundações esperadas estão na extremidade inferior da possível série de inundações. Para o cenário de mudanças climáticas, os fluxos projectados para o cenário de 2 anos são projectados para um aumento em 13%, para, para o cenário de 20 anos é projectada uma redução de 5%. Não pode ser visto um impacto significativo das inundações modeladas na área do Chokwe. As incertezas devido a dispersão dos dados de mudanças climáticas são também marginais.

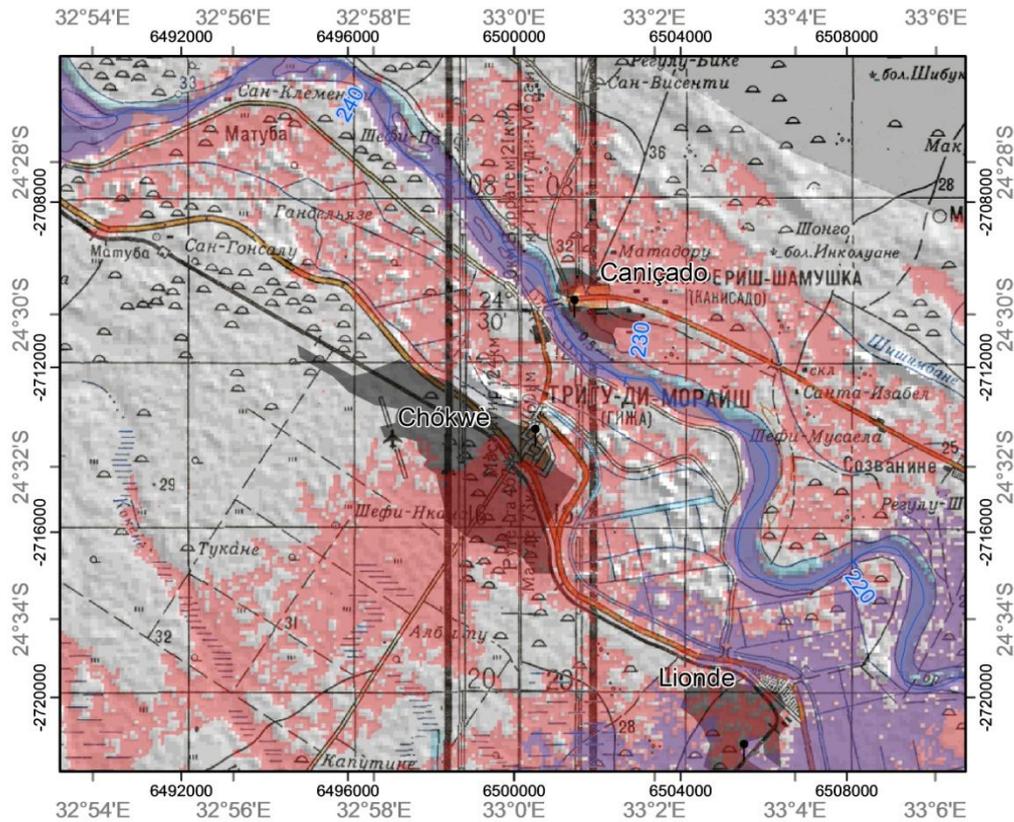
Os resultados do modelo mostram que Tete no Zambeze (Figura 2.17) parece não afectado pelos fluxos de cheia com 2 anos de período de retorno. É provável que fluxos de cheias de 20 anos possam inundar a parte baixa à sudoeste do centro da cidade. Devido ao terreno distinto, as incertezas nas estações 470-475 são baixas. O cenário de mudanças climáticas (Figura 2.18) com fluxo constante para um período de retorno de 2 anos e uma redução em 7% para fluxos de 20 anos mostra pequenas mudanças de inundação para um evento de 20 anos.

Caia localiza-se a sensivelmente 5km da margem do rio Zambeze e está representado nas Figuras 2.19 e 2.20. Para eventos de inundação de 2 anos são marginais com pequenas marcas de água à volta da cidade. Para eventos de 20 anos, o modelo mostra as áreas inundadas conectadas à volta da cidade cortando a infraestrutura de transportes. As incertezas para ambos eventos em Caia (na estação hidrométrica 172) mostram que uma inundação ligeiramente maior ou menor são igualmente possíveis. As incertezas de mudanças climáticas assim como as mudanças de inundações são desprezíveis naquele ponto.

Comparação do impacto das mudanças climáticas

Comparando os fluxos de referência e de mudanças climáticas directamente num único mapa não fornecerá nova informação significante. A diferença entre os cenários não será bem distinta. O motivo principal são os passos de elevação do SRTM em intervalos de 1m. Um exemplo representativo é elucidado pelo Limpopo onde pode ser visualizado em amarelo (20 anos de diferença de períodos de retorno) e em verde (2 anos de diferença de períodos de retorno), que as diferenças entre os cenários de base e de mudanças climáticas são relativamente pequenas.

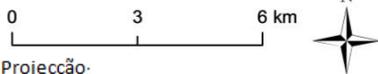




Mapa de Risco de Cheias

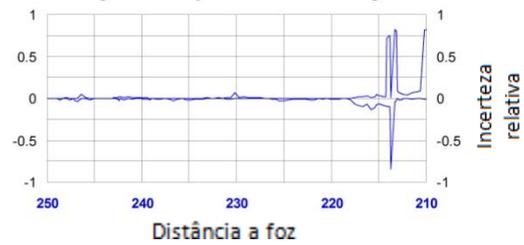
Rio Limpopo no Chókwe
 Situação actual (1961-2000)
 Períodos de retorno de 2 e 20 anos

- Cidades
- 200 Canal principal do Limpopo com distância a foz (Km)
- Inundação com 2 anos de período de retorno
- Inundação com 20 anos de período de retorno
- Fronteiras actuais da cidade (2000-2010)



Projeção:
 Transverse Mercator, Gauss Krueger Zone 6,
 Pulkovo 1942
 Mapas topográficos
 Soviet Military Topographic Mapping (1950-1990)

Incerteza com 2 anos de período de retorno



Incerteza com 20 anos de período de retorno



Figura 2-15: Mapa de risco de cheias para o rio Limpopo no Chókwe para um cenário de base com períodos de retorno de 20 e 2 anos incluindo diagramas de incertezas

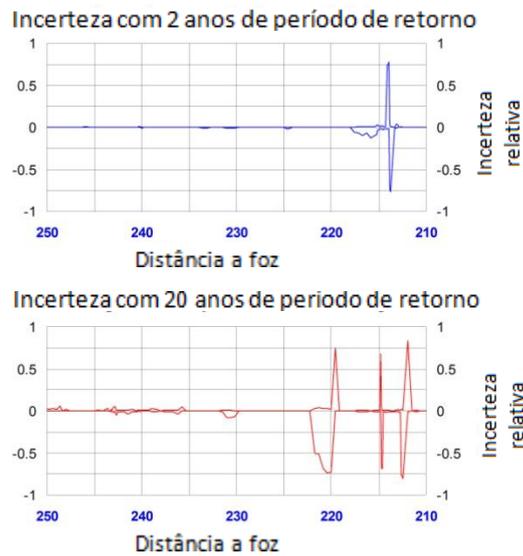
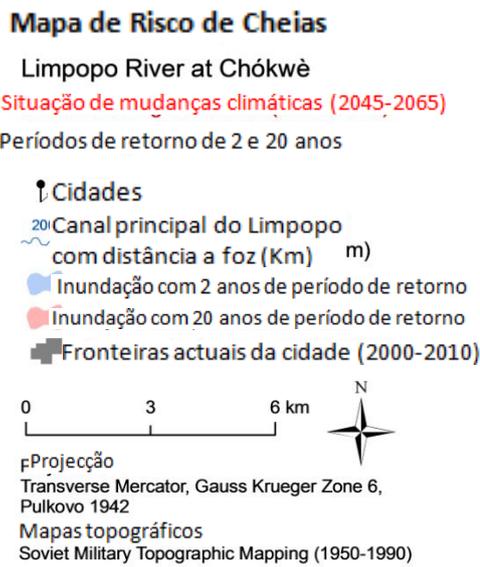
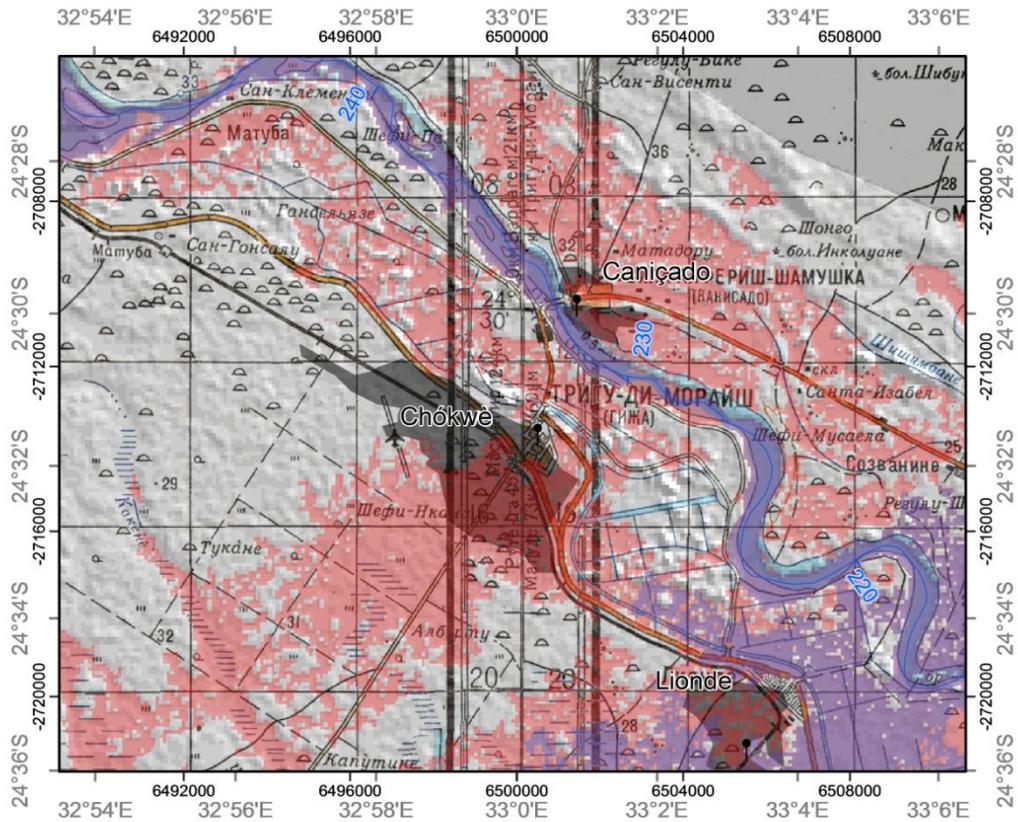
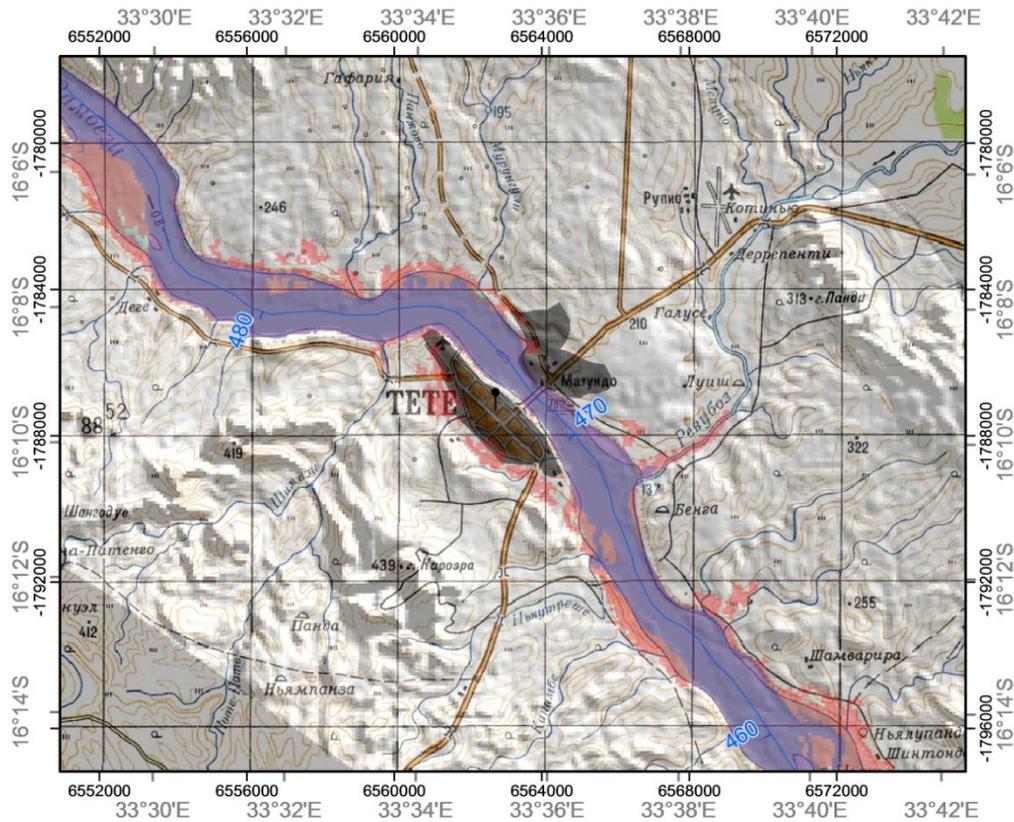


Figura 2-16: Mapa de risco de cheias para o rio Limpopo no Chókwè, para cenários de mudanças climáticas com 20 e 2 anos de períodos de retorno incluindo os diagramas de incertezas



Mapa de Risco de Cheias

Rio Zambeze em Tete

Situação actual (1961-2000)

Períodos de retorno de 2 e 20 anos

- Cidades
- Rio Zambeze principal com distância a foz (Km)
- Inundação com 2 anos de período de retorno
- Inundação com 20 anos de período de retorno
- Fronteiras actuais da cidade (2000-2010)

0 3 6 km

Projeção
Transverse Mercator, Gauss Krueger Zone 6,
Pulkovo 1942
Mapas topográficos
Soviet Military Topographic Mapping (1950-1990)

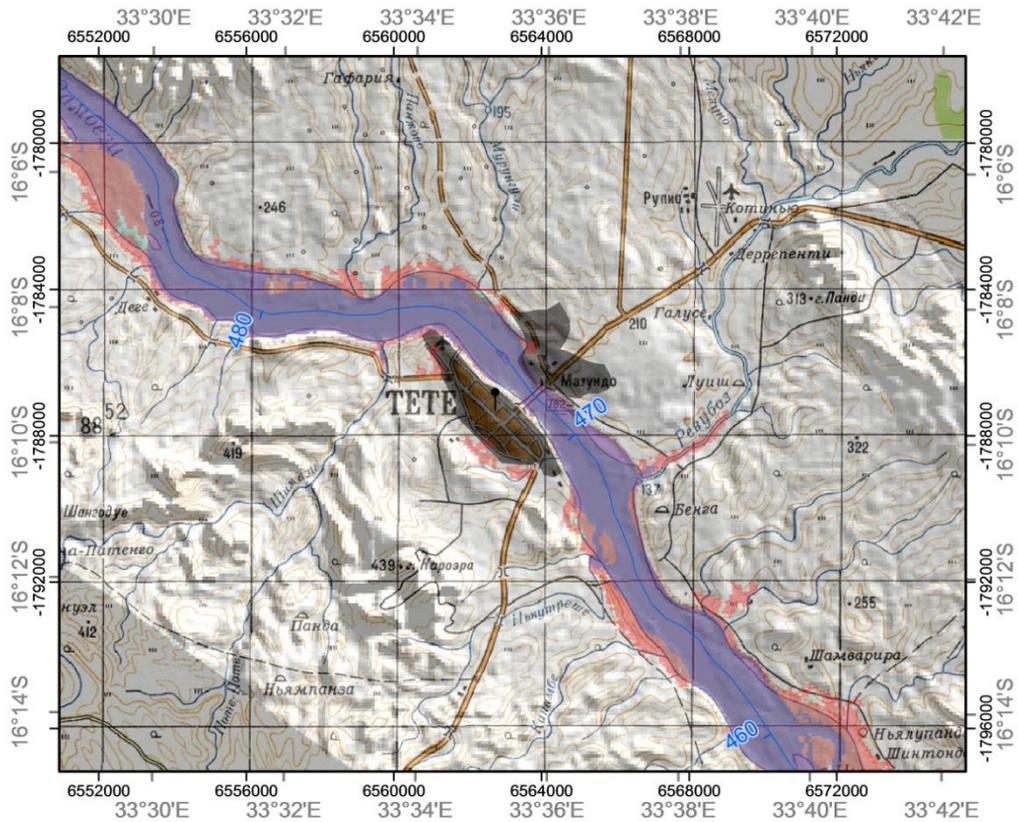
Incerteza com 2 anos de período de retorno



Incerteza com 20 anos de período de retorno



Figura 2-17: Mapa de risco de cheias para o rio Zambeze para um cenário de 20 e 2 anos de Período de Retorno incluindo diagramas de incertezas



Mapa de Risco de Cheias

Rio Zambeze em Tete

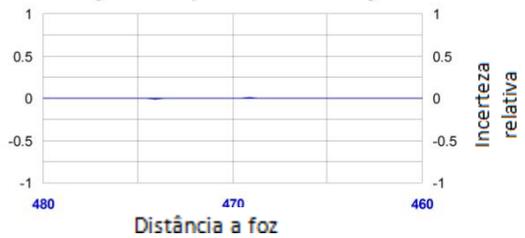
Situação de mudanças climáticas (2045-2065)
Períodos de retorno de 2 e 20 anos

- Cidades
- 47 Rio Zambeze principal com distância a foz (Km) m
- Inundação com 2 anos de período de retorno
- Inundação com 20 anos de período de retorno
- Fronteiras actuais da cidade (2000-2010)



Projeção
Transverse Mercator, Gauss Krueger Zone 6,
Pulkovo 1942
Mapas topográficos
Soviet Military Topographic Mapping (1950-1990)

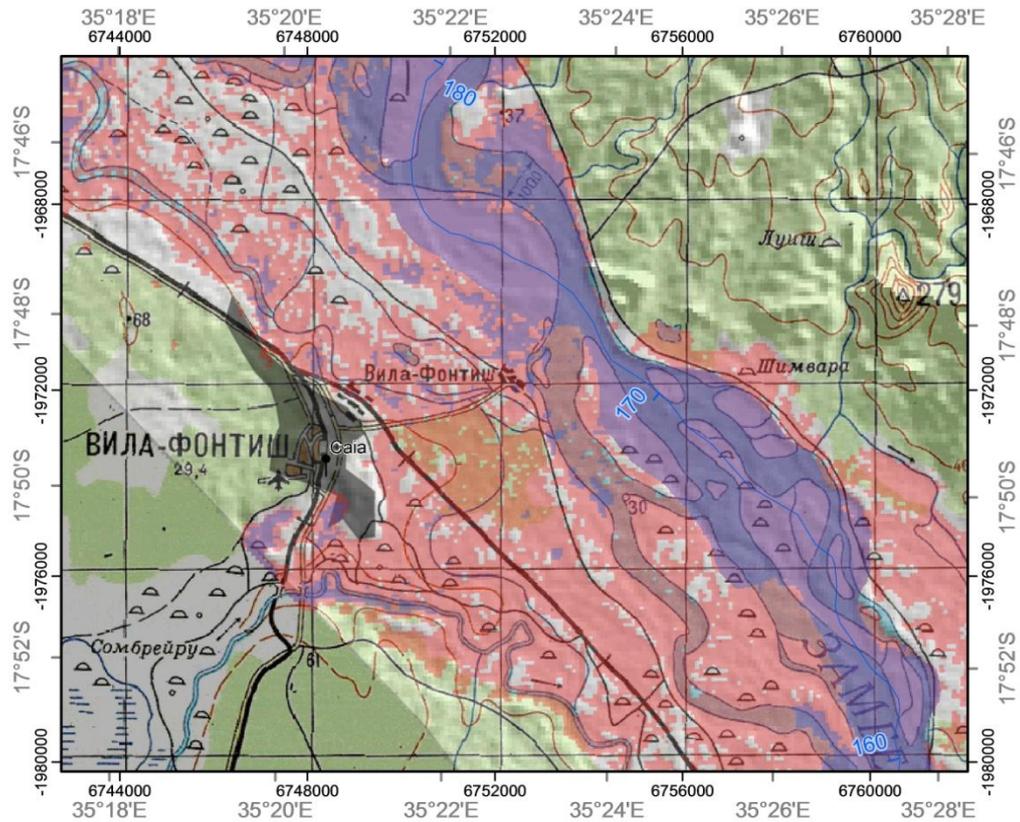
Incerteza com 2 anos de período de retorno



Incerteza com 20 anos de período de retorno



Figura 2-18: Mapa de risco de cheias para o rio Zambeze em Tete para cenário de mudanças climáticas com período de retorno de 20 e 2 anos incluindo diagramas de incertezas



Mapa de Risco de Cheias

Rio Zambeze em Caia

Situação actual (1961-2000)

Períodos de retorno de 2 e 20 anos

- Cidades
- 17x Rio Zambeze principal com distância a foz (Km) n)
- Inundação com 2 anos de período de retorno
- Inundação com 20 anos de período de retorno
- Fronteiras actuais da cidade (2000-2010)



Projeção:
Transverse Mercator, Gauss Krueger Zone 6,
Pulkovo 1942
Mapas topográficos
Soviet Military Topographic Mapping (1950-1990)

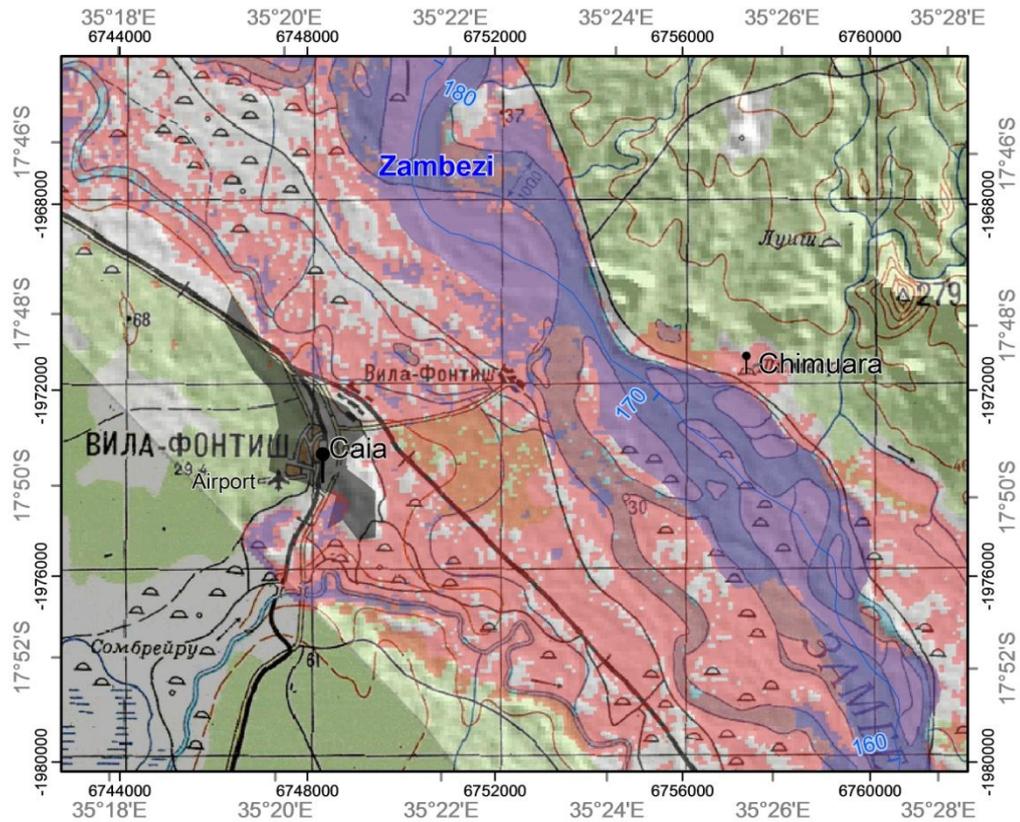
Incerteza com 2 anos de período de retorno



Incerteza com 20 anos de período de retorno



Figura 2-19: Mapa do risco de cheias para o rio Zambeze em Caia para o cenário de base com períodos de retorno de 20 e 2 anos incluindo diagramas de incertezas



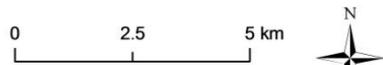
Mapa de Risco de Cheias

Rio Zambete em Caia

Situação de mudanças climáticas (2045-2065)

Períodos de retorno de 2 e 20 anos

- Cidades
- 171 Rio Zambeze principal com distância a foz (Km) m)
- Inundação com 2 anos de período de retorno
- Inundação com 20 anos de período de retorno
- Fronteiras actuais da cidade (2000-2010)



Projeção: Transverse Mercator, Gauss Krueger Zone 6, Pulkovo 1942
Mapas topográficos Soviet Military Topographic Mapping (1950-1990)

Incerteza com 2 anos de período de retorno



Incerteza com 20 anos de período de retorno



Figura 2-20: Mapa do risco de cheias para o rio Zambeze em Caia para cenários de mudanças climáticas para períodos de retorno de 20 e 2 anos incluindo diagramas de incertezas

2.5.1 Recomendações para o mapeamento de cheias

O mapeamento e modelação de cheias, suas insuficiências assim como oportunidades foram observados o que levou a formulação destas recomendações.

1. O modelo de inundações e resultados do mapeamento podem ser usados como base para uma Avaliação de Risco de Cheias (FRA) mais detalhada conforme descrito na secção 2.6. O modelo HEC-RAS pode fornecer as condições de contorno para modelos bidimensionais mais detalhados e os mapas de inundação apresentados podem ser usados para seleccionar áreas aproximadas (zonas de inundação) onde informação topográfica adicional deve ser registada, e.g. através de LiDAR flights. O capítulo 2.6 mostra um exemplo de aplicação do FRA incluindo os respectivos requisitos de dados. Tal FRA detalhado seria igualmente a base para conceber o projecto detalhado de protecção contra cheias para o qual a informação base e recomendações são dadas na secção 2.7.
2. Uma forte recomendação resultante do modelo de inundações e mapeamento de cheias seria a combinação do modelo de inundação desenvolvido nesta subcomponente com o sistema de apoio de decisões “Decision Support System” na subcomponente 1 da componente de águas da fase 2 do INGC. A extensão proposta envolveria a combinação e melhoramento do sistema de apoio de decisões para o Zambeze e o modelo de cheias desenvolvido no programa para o Zambeze em Moçambique com a inclusão da capacidade de mostrar a cheia resultante de cenários de descarga no DSS. Isto não foi possível antes do surgimento do modelo de cheias SC2 porque não existia estimativas de cheias relacionadas com as descargas. O instrumento melhorado permitiria o uso do DSS para avaliar o impacto das mudanças antropogénicas e climáticas na bacia em caso de inundações no Zambeze. Vice versa, o instrumento melhorado permitiria as autoridades o uso do DSS para avaliar as possibilidades de controlo de cheias no Zambeze tendo em conta as barragens existentes e planeadas incluindo a sua operação. A extensão de cheias para o DSS equiparia os decisores de conhecimento até agora inexistente sobre a relação entre a gestão de bacias hidrográficas e as cheias e ainda poderia ser usada para aliviar directamente as populações ribeirinhas do Zambeze das cheias através de estratégias e medidas de alívio. O DSS poderia ser usado para estabelecer zonas de risco de cheias (e.g. para períodos de retorno de 100/1000) que poderia servir de base para o desenvolvimento de políticas como tem sido pratica comum noutros países. O DSS permitiria fácil acesso a esta informação e a sua devida disseminação ao público. Da mesma maneira que o DSS corrente, o DSS de cheias seria acessado remotamente através da internet que poderia fortemente ajudar a disseminar a informação sobre risco de cheias.
3. A disponibilidade de dados Hidrometeorológicos tendo em conta ambos a qualidade e cobertura especial é um assunto por resolver na bacia. É recomendado que uma melhor monitoria hidrometeorológica se implemente através da qual dados importantes poderão ser disponibilizados. i.e. as avaliações detalhadas de risco de cheias da Recomendação 1. Não podem ser implementadas com dados hidrológicos na proximidade da área avaliada. A rede deve preencher as lacunas da presente observação e criar as bases necessárias para futuras análises hidrometeorológicas. Uma abordagem faseada seria usada para garantir que os locais prioritários sejam equipados com instrumentos de monitoria em primeiro lugar. Uma capacitação paralela seria essencial para garantir a sustentabilidade da rede no que diz respeito a colheita de dados, garantia de qualidade e arquivo. A colheita de dados melhorada seria um pré-requisito para a maioria dos estudos futuros detalhados e tomando em conta o tempo necessário

- para o estabelecimento de uma série temporal esta recomendação poderia ser prioritária.
4. Os dados topográficos públicos disponíveis para Moçambique com boa cobertura especial estão restritos aos modelos de elevação digital SRTM e ASTER que incorporam uma resolução espacial larga (90m e 30m de tamanho de célula respectivamente) e imprecisões consideráveis e incertezas na sua precisão vertical. Existem varias possibilidades comerciais no mercado (e.g. LiDAR, Quickbird) que permitiriam melhorar a situação. Dado que estas bases de dados são caras, seria necessária uma análise detalhada antes da aquisição de tais dados para identificar áreas alvo ou trechos para os quais tais dados são necessários para posteriores análises detalhadas, e.g. as acima indicadas avaliações de risco de cheia (FRAs). A aquisição dos dados topográficos deve ser feita de acordo com a aquisição dos dados hidrometeorológicos para de modo a garantir uma base de dados abrangente. Os detalhes sobre a aquisição de dados encontram-se no anexo.
 5. É recomendado que os dados actualmente disponíveis (mas disperses) de diferentes fontes e os dados que seriam colhidos de uma rede de observação e monitoria melhorada assim como os dados topográficos adquiridos seriam colhidos sistematicamente, a sua qualidade verificada e arquivados num portal de dados para garantir qualidade e acessibilidade. Um bom exemplo de tal portal foi desenvolvido para a Somália e pode ser visitado no site www.faoswalim.org. O benefício de tal portal seria o acesso directo a uma base de dados extensa o que reduziria o tempo de colecta de dados diminuindo o risco de lacunas em estudos futuros e na tomada de decisões.
 6. A protecção costeira através de condições meto-oceânicas extremas não está incluída no modelo de cheias e mapeamento onde foi suposto um nível de maré "Normal". Respectivamente apenas uma fonte de inundação - cheia fluvial foi representada para os estuários dos três rios avaliados enquanto que estas áreas são igualmente propensas a cheias induzidas pelo oceano. É recomendada uma análise do risco de cheias do estuário usando um modelo combinado rio/oceano numa abordagem numérica bidimensional. O modelo desenvolvido neste projecto pode fornecer as condições de contorno necessárias à jusante para tal análise. A avaliação do risco de cheias no estuário deve incluir fluxo do rio, condições da maré, tempestades, ondas de cheias e considerando os efeitos de retorno de fluxo. A avaliação seria possível com a base de dados agora disponível através de dados mais detalhados conforme descrito na Recomendação 3. e 4. melhoraria a precisão.
 7. A modelação e mapeamento elaborados em SC2 resultou num modelo de cheias capaz de representar a situação de cheias no ao longo do Zambeze. Devido a restrição de dados resultantes do trabalho da fase 1 do INGC, apenas foram modelados períodos de retorno de 2 e 20 anos enquanto que eventos mais intensos não foram cobertos. Recomenda-se a expansão do trabalho de modelação para cobrir eventos de cheia adicionais i.e. com períodos de retorno de 100 e 1000 anos. Os dados necessários estão disponíveis através do trabalho do SC1 DSS feito no âmbito deste projecto. O trabalho seria um pré-requisito (ou parte) para o desenvolvimento do DSS de cheias conforme descrito na Recomendação 2.
 8. O modelo de cheias mapas produzidos no SC2 são resultado de condições de fluxo estacionário baseado nos dados existentes. Com os actuais sistemas de observação e conhecimento do sistema, foram simulados cenários futuros para diferentes períodos de retorno e podem ser usados a gestão do risco de cheias. Para aumentar a capacidade de aviso e acção das agencias de emergência e desta forma beneficiar as populações ribeirinhas, o passo lógico seguinte seria a previsão operacional de cheias. A previsão de

cheias em tempo real melhoraria largamente a capacidade do INGC de passar de apenas uma instituição de reacção para a tomada de acções de prevenção de eventos catastróficos. A previsão de cheias em tempo real incluindo as respectivas medidas de alerta podiam largamente aliviar os impactos das cheias, reduzir a perda de vidas e de propriedades através de 1. Alerta as populações potencialmente afectadas e 2. Reduzindo as cheias catastróficas pela respectiva operação preventiva da albufeira (i.e. descargas preventivas para aumentar a capacidade de retenção antes da chegada da onda de cheias). Mais ainda, o DSS em tempo real pode ser usado para rapidamente testar alternativas de retenção de cheias da cheia em vista. Métodos para a previsão de cheias em tempo real foram descritos por exemplo no RIMAX project (Petersen, 2009), onde uma monitoria baseada em sensores remotos foi usada e métodos possíveis são descritos incluindo a sua adaptação as condições de países em desenvolvimento.

9. As directrizes que poderiam potencialmente ser usadas para o controle do desenvolvimento em áreas de risco de cheias foram propostas no Anexo. É fortemente recomendado o aperfeiçoamento e implementação dessas directrizes por forma a prevenir e controlar futuros planos de desenvolvimento de infraestruturas em áreas propensas a cheias.

2.6 FLOOD RISK ASSESSMENT (FRA) - AVALIAÇÃO DO RISCO DE CHEIAS

Não foi possível fazer uma FRA detalhada dentro de Moçambique devido a falta de dados hidrológicos e topográficos. Não foram disponibilizados níveis aproximados de inundação para períodos de retorno pré-determinados antes deste relatório o que levantou o problema de não se conhecer a localização exacta donde a elevação necessária e batimetria deveriam ser registados. Conforme sublinhado na proposta, foi feito um exemplo de FRA para mostrar os dados necessários, procedimentos gerais e possíveis resultados. Um estudo semelhante poderia ser implementado em Moçambique se os dados necessários (conforme descrito no relatório de introdução) estivessem disponíveis.

2.6.1 Introdução

Um cenário hipotético para a FRA: Um aglomerado comercial de um país desenvolvido foi construído nas proximidades de um vale quando ainda não existiam dados hidrológicos. A área consiste em várias fábricas e numerosas lojas perto da fábrica principal. As autoridades locais pretendem reabilitar os edifícios, em paralelo com expansão de dois novos armazéns. Recentemente, a análise estatística de medições de descargas em série temporal indicou que a área é propensa a cheias. Antes de começar a fase de planeamento detalhado, as autoridades decidiram investigar a situação hidráulica e avaliar o impacto dos novos edifícios em caso de inundação da área através de cheias.

É o objectivo principal deste FRA (1) produzir previsões detalhadas sobre a actual situação hidráulica para as cheias de 50 e de 100 anos de período de retorno com as mudanças climáticas e (2) avaliar a influência dos dois edifícios na profundidade da água e velocidades de caudal no aglomerado de 4ha. A segurança das pessoas que trabalham na área é o parâmetro (alvo) principal no qual a avaliação é baseada. Com recurso a um modelo hidráulico bidimensional, serão dadas recomendações se os edifícios deverão ser construídos assim como se e como medidas de mitigação e de evacuação poderão ser adoptadas.

2.6.2 Descrição do local

A *Figura 2.21* mostra o DEM com linhas tracejadas, descrevendo a estrutura física do aglomerado com o vale fluindo de noroeste a sudeste, com a maior fábrica na várzea à direita (noroeste) com os armazéns planeados. Os armazéns tem uma área de 1500m² cada e com 6m de altura, localizados na parte este da fábrica (quadrados azuis). Outros pequenos edifícios na parte baixa da várzea podem ser visualizados.

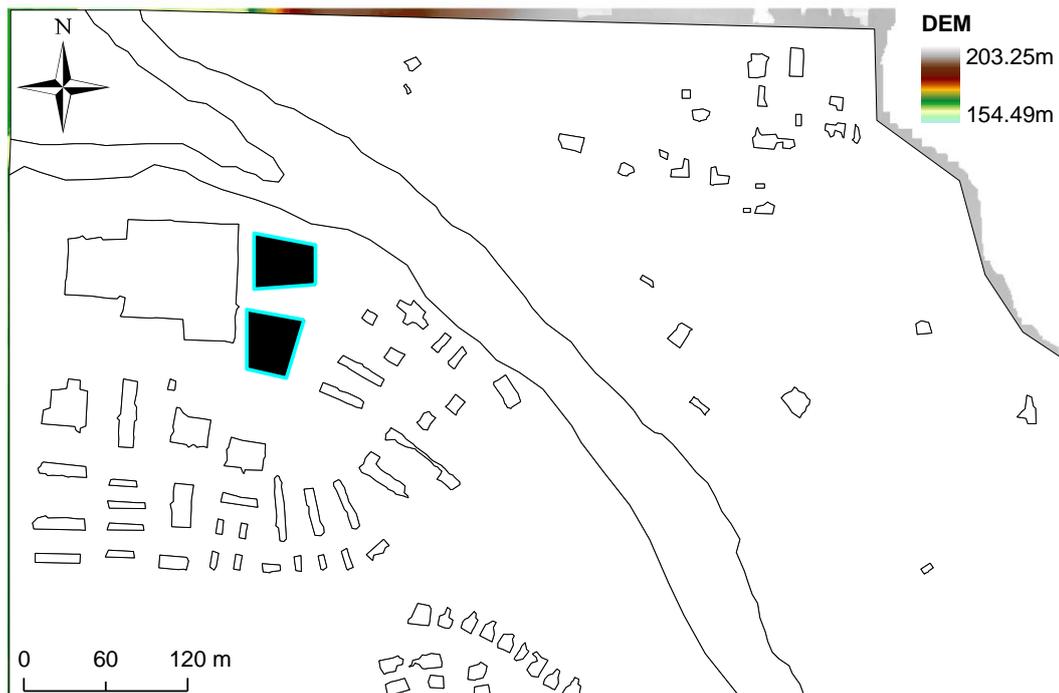


Figura 2-21: LiDAR derived DEM com os edifícios e linhas tracejadas do rio (em preto) e a construção proposta (em azul)

2.6.3 Modelação

As simulações são efectuadas por um modelo bidimensional AdH (Berger et al. 2011) e a interface GIS ArcADH descrita no capítulo 2.4.3.

Dados de input

Os *Figura 2.22* dados de elevação e da superfície do leito do rio são representados através de dados de elevação gerados a partir do LiDAR com uma abertura de célula de grelha 1m (Opentopo 2011), combinado com dados echosounding para cobrir a batimetria do rio. A representação dos armazéns planeados é conseguida aumentando as células em 6 m dentro da área do edifício. Estas duas grelhas são a base para as operações de referencia e de cenários no modelo. As descargas diárias e níveis de água desde 1981 estão disponíveis numa estação hidrométrica localizada a poucos Km à jusante do domínio do modelo. Um modelo hidráulico unidimensional foi usado para calcular as relações caudal/altura na extremidade à jusante do domínio do modelo. Dados topográficos para o modelo 1D foram também tirados do LiDAR e da base de dados echosounding. A série temporal de 31 anos foi usada para extrapolar os fluxos de

pico de cheias com um período de retorno de 50 anos ($180\text{m}^3/\text{s}$) e 100 anos mais o factor de segurança de mudanças climáticas ($300\text{m}^3/\text{s}$) usando a distribuição probabilística de Gumbel. Devido a pequena magnitude da área de investigação, o modelo pode ser operado em estado estacionário como o impacto da dissipação da onda de cheia pode ser negligenciada nesta escala. As elevações da superfície de água modeladas e velocidades de caudal foram cruzados com dados medidos adaptando os valores de rugosidade de Manning's.

Resultados do Modelo

O estado actual e o cenário foram modelados operando o AdH com 50 e 100 anos de fluxo de pico. As profundidades da água e velocidades de fluxo nas várzeas são usadas como indicador de potenciais danos e perigos.

A mostra os resultados para a cheia de 50 anos de período de retorno. Na situação actual (*Figura 2.22a*), as áreas (do aglomerado) que estão a volta dos edifícios tornar-se-ão inundadas. A profundidade da água a volta da maioria dos edifícios varia de 0 a 1 metro. Apenas cinco edifícios na parte sudeste do aglomerados por agua com mais de 1m de altura (valor máximo 1.5m). As velocidades de fluxo no aglomerado são maioritariamente abaixo de 0.1 m/s com valores máximos de 0.11m/s. Após a construção armazéns (*Figura 2.22b*) a tendência actual da cheia de 50 anos de período de retorno sofre mudanças na medida em que a agua se desvia a volta dos edifícios. Para uma análise mais detalhada do impacto nas profundidades e velocidades, são apresentadas na *Figura 2.22c* e *d* as diferenças entre as velocidades de fluxo e profundidades da agua para a situação actual e os cenários. Os números positivos indicam valores de cenário altos, os números negativos indicam valores baixos de cenário. As áreas à volta dos edifícios directamente a sudeste dos novos armazéns e na parte sudeste a meio da fábrica principal estão afectadas por velocidades de fluxo elevadas até 0.05m/s. As velocidades de fluxo são reduzidas em 0.001 to 0.05m/s para a maioria dos outros edifícios. A subida mais alta é encontrada no canto nordeste do novo armazém (0.06m/s to 0.26m/s) e na extremidade a sudoeste de uma pequena loja no centro dos edifícios (0.11m/s to 0.12m/s). Está previsto uma ligeira subida de velocidades de fluxo no canal principal. A *Figura 2.23a* mostra a situação actual simulada em caso de ocorrência de uma cheia com um período de retorno de 100 anos antes da construção dos edifícios. As profundidades da água na várzea a volta dos edifícios atingem um máximo de 2.50m, com todos os edifícios cercados de água com 1.6 m de profundidade. As velocidades de fluxo no aglomerado atingem um máximo de 0.56m/s logo a oeste do fabrica principal. Velocidades de fluxo superiores a 0.2m/s são encontradas em certos caminhos de caudal entre os edifícios. A *Figura 2.23b* mostra os resultados da simulação se os edifícios tivessem sido construídos antes das cheias. Pode ser visto que as correntes nas várzeas e caminhos de fluxo mudaram significativamente. As profundidades da agua a nordeste da fabrica e logo à montante dos novos edifícios vão subir ligeiramente em menos 1cm (*Figura 2.23d*). Prevê-se uma ligeira descida das profundidades de agua no resto do aglomerado em menos de 1 cm. A maior subida na velocidade de fluxo ocorre entre o novo armazém a norte e a fábrica principal (0.15m/s). As já altas velocidades a oeste da fábrica sobem ainda em 0.02m/s. Além disso, as velocidades reduzem, especialmente na área a sudeste dos novos edifícios.

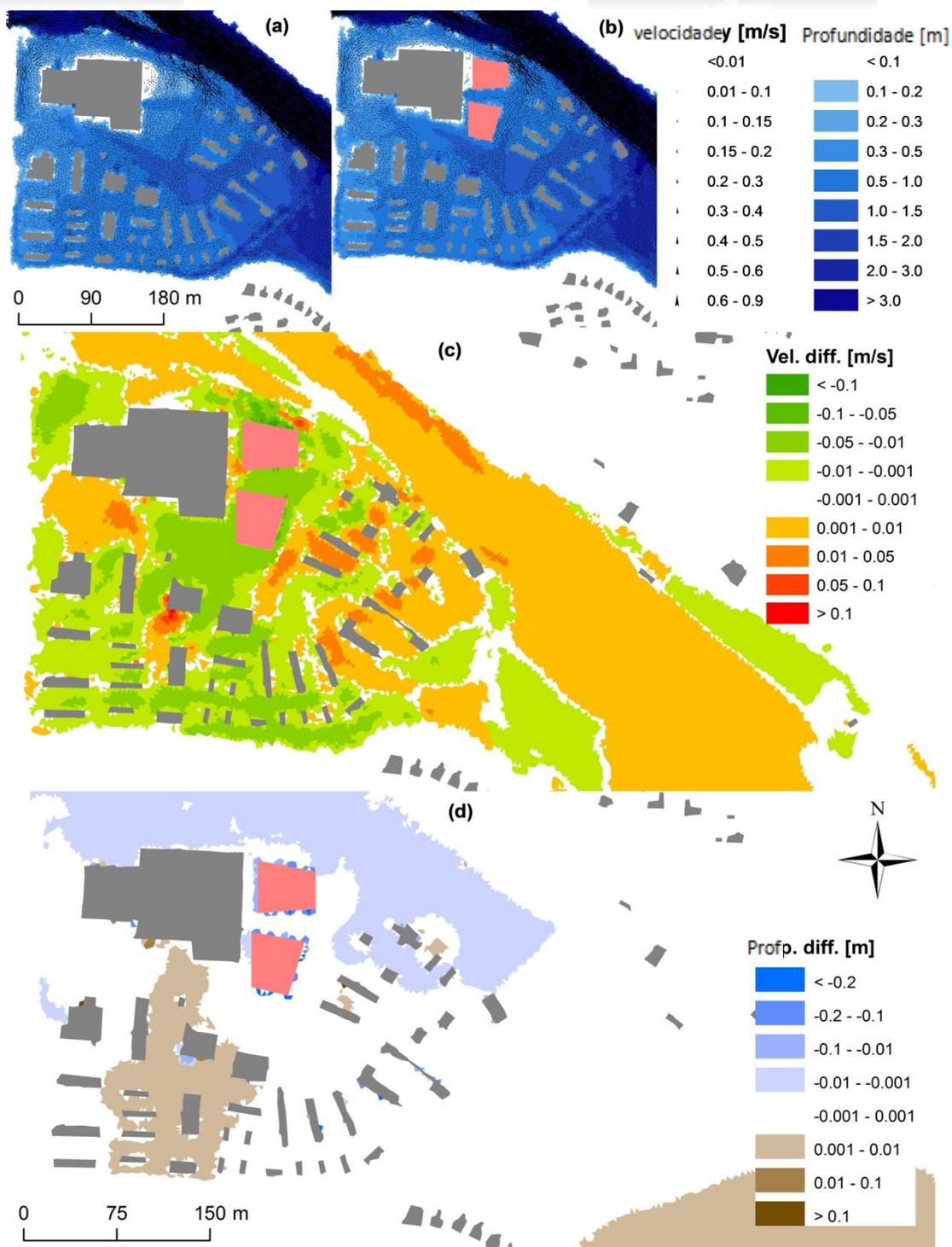


Figura 2-22: Velocidades de fluxo e profundidades da água para um período de retorno de 50 anos antes (a) e depois da construção dos armazens; para efeitos comparativos, as diferenças de velocidade e profundidade da água são apresentadas em (c) e (d)

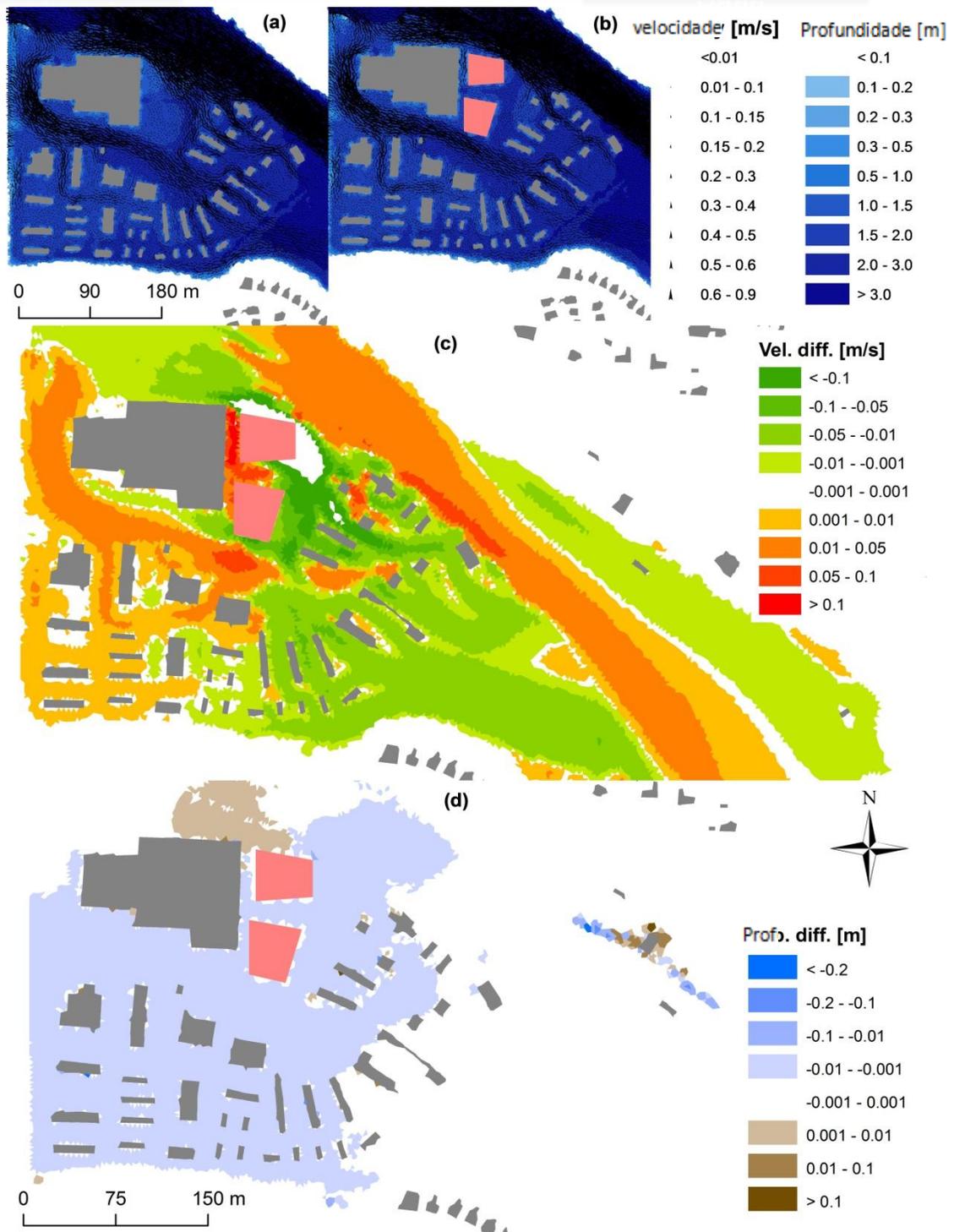


Figura 2-23: Velocidades de fluxo e altura da água com 100 anos de período de retorno antes(a) e depois da construção dos armazéns; para comparação, as diferenças de velocidades e altura da água são apresentadas em (c) e (d)

2.6.4 Análise de risco

Os cenários modelados foram analisados de acordo com o perigo para as populações. Por forma a abandonarem o aglomerado em caso de cheias, as populações terão que ser capazes de escapar através das águas das cheias durante as horas úteis de serviço, normalmente de dia. No DEFRA 2006 são dadas as instruções quanto as profundidades e velocidades de cheia que representam risco para as populações:

Valor de perigo(Hazard Value) = profundidade x (velocidade + 0.5)

Para que as populações ainda possam ser capazes de escapar através das águas das cheias o Valor de Perigo não deve exceder 0.7. Existe perigo para alguns de 0.7 a 1.5 e para a maioria das pessoas de 1.5 a 2.5. Valores acima deste limite são perigosos para todas as pessoas. Os resultados do modelo são analisados de acordo com estes princípios. A *Figura 2.18* mostra os mapas de Valores de Perigo.

Pode ser observado que para uma cheia de 50 anos de período de retorno, todas as pessoas seriam capazes de abandonar com segurança todos os edifícios em ambos cenários (*Figura 2.24a* e *b*) para uma zona seca a oeste e a sul do aglomerado. Apenas no edifício localizado a leste perto do rio seria necessário atravessar valores de perigo até 0.8. Após a construção dos halls, prevê-se o aumento ligeiro dos valores de perigo mas ainda com uma pequena rota de escape com valores um pouco abaixo de 0.8.

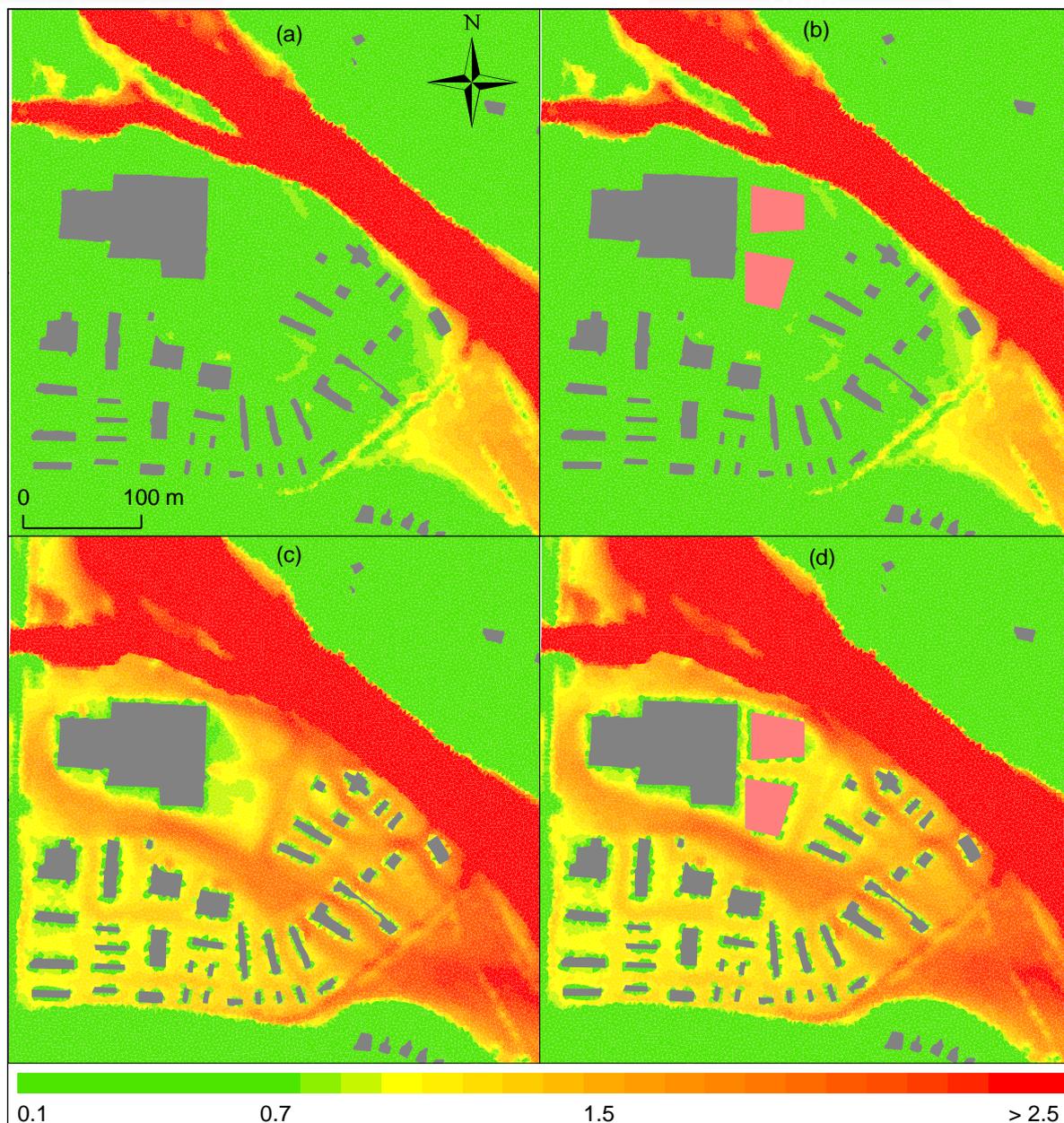


Figura 2-24: Mapas de perigo para (a) situação actual de um evento de 50 anos e (b) após a construção dos halls; (c) situação actual de um evento de 100 anos e (d) após a construção dos halls

Caso uma cheia de 100 anos atingisse uma certa área, não seria possível a evacuação segura da maioria das pessoas. A construção dos armazéns resultaria numa subida do Valor de Perigo em 5% no caminho de fluxo a sul da fabrica. Mas, por outro lado, reduziria igualmente na parte a leste do edifício, o Valor de Perigo em 10% no máximo. Os edifícios podem também ser um local de refúgio durante as cheias. Geralmente, edifícios leves podem resistir valores de velocidade x altura de 1 (Walsh and Benning 1998, DEFRA 2006). Este valor, sendo diferente do valor de perigo acima indicado, não é excedido em nenhum local do aglomerado para qualquer cenário. Teoricamente, as pessoas poderiam ser capazes de procurar refúgio nos edifícios, o que dependeria, em larga escala, das condições de tais edifícios.

2.6.5 Recomendações

Os resultados da simulação mostram que o evento com 50 anos de período de retorno não representa grandes riscos para a população do aglomerado. Igualmente com a construção de dois abrigos de acolhimento, o perigo de cheias não aumenta significativamente.

A cheia de 100 anos é perigosa para todos os residentes da área. É possível escaparem algumas pessoas mas, os mais idosos, deficientes e crianças não serão capazes de escapar sem correrem o perigo de serem arrastados pelas águas. A procura de refúgio nos edifícios seria uma possibilidade se tais edifícios tivessem pelo menos paredes convencionais de alvenaria e permitissem o acesso ao primeiro andar ou telhado. Os mapas de perigo apresentados podem ser usados para identificar caminhos de evacuação e devem estar nas mãos das autoridades de emergência locais.

De acordo com este estudo, teoricamente seria possível construir abrigos de acolhimento tendo em conta que o risco técnico total daí decorrente não aumentaria (o ligeiro aumento de risco para certas partes do aglomerado é mitigado fornecendo abrigo seguro nos locais de acolhimento para o caso de ocorrência de um evento de cheias com 100 anos de período de retorno). Nesse caso, recomenda-se ainda mais o aumento da segurança dos edifícios contra as cheias através da sua readaptação.

No todo, não seria recomendável a permissão de mais desenvolvimento numa zona propensa a cheias e a construção de novos edifícios não deveria ser permitida de modo a permitir o desenvolvimento de outras áreas seguras num outro local. Ainda para mais, a longo prazo, deve-se ter em mente tirar os aglomerados existentes das zonas propensas a cheias. Tais decisões deveriam basear-se, no entanto, em planos de desenvolvimento detalhados de modo a regular o uso de aglomerados habitacionais existentes assim como de novos desenvolvimentos habitacionais em áreas propensas a cheias. O British Planning Policy Statement 25 (PPS25) seria um exemplo de tais políticas de desenvolvimento. A política deve cobrir ambas a vulnerabilidade do objecto (risco para as populações, risco de colapso) assim como risco que o objecto representa (características de mudança de fluxo podem levar a mais risco à jusante, indústrias inundadas podem causar poluição, etc.)

Um ponto a acrescentar numa Avaliação de Risco de Cheias-FRA- detalhado seria o impacto dos planos de desenvolvimento à jusante. No caso acima nenhum impacto é visível. Em circunstâncias diferentes haveria impactos significativos à jusante que deveriam ser tomados em conta para a tomada de decisão.

2.7 PROTECÇÃO CONTRA CHEIAS E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

2.7.1 Introdução a defesa contra cheias possibilidades de mitigação em Moçambique

Moçambique dispõe de largas várzeas que se podem estender a vários km de largura. Estas bacias são periodicamente inundadas o que, pelo facto das bacias serem usadas para diversos fins, muitas vezes resulta na destruição de diversas plantas e bens pelas águas das cheias. Não obstante, as várzeas têm um papel muito importante na retenção de águas das cheias e na prevenção de maiores cheias e destruição à jusante.

A situação actual de prevenção de cheias, protecção ou medidas de mitigação mostra um cenário pobre. A situação pode ser descrita da seguinte forma:

- As bacias à montante estão fortemente em deterioração, promovendo o aumento do escoamento superficial e mais fluxos de pico
- As regras de operação de grandes barragens não são direccionadas a retenção de cheias com baixos níveis de operação mas sim, na manutenção de altos níveis de fornecimento
- Pequenas barragens e descarregadores ao longo dos afluentes não são suficientemente numerosos e bastante pequenos para tomarem um papel significativo na retenção de cheias
- Não existem políticas de desenvolvimento de terras em vigor ou em implementação que impediriam o assentamento de pessoas ou a construção em áreas propensas a cheias
- Os dados e a situação de monitoria a nível local não é suficiente para a elaboração de avaliações de risco de cheias detalhadas e produção de informação profunda sobre as condições locais de cheias
- Não é seguido o conceito “making room for water” com uma abordagem holística e mantendo a função de retenção das várzeas enquanto que é dada preferência a abordagens locais
- Na maioria dos casos não existem estruturas de protecção contra cheias
- Não estão suficientemente estabelecidos sistemas de monitoria e aviso prévio
- Não se promovem actividades de preparação e adaptação através da construção de edifícios resistentes a cheias, mas apenas efectuadas por poucas ONG’s de âmbito local

Existem varias alternativas para melhorar a situação actual com recurso a diversas medidas com impacto de curto e longo termo, baseadas nas intervenções estruturais, prevenção e mitigação. A protecção contra cheias pode ser alcançada de diversas formas e à diferentes níveis.

Sob ponto de vista da bacia hidrográfica, a conservação das áreas à montante da bacia e trabalhos de restauração têm um impacto benéfico significativo na redução de cheias. Para além disso, a preservação e restauração de áreas pantanosas e várzeas é um valioso instrumento para a redução de cheias. O uso das barragens existentes numa bacia hidrográfica é benéfica, tendo em conta que estas podem ser operadas com cronogramas sincronizados e sendo a protecção contra cheias a prioridade, enquanto isto significa um compromisso na energia ou disponibilidade de água através de níveis de armazenamento reduzidos.

A nível local, existem diversas alternativas para o aperfeiçoamento da resistência as cheias. As opções podem ser de baixo custo através da preparação das comunidades para as eventualidades de cheias e comportamentos a observar em situações de cheias. As opções podem também incluir o desenvolvimento de sistemas de aviso prévio e alerta bem como a promoção de construções resistentes a cheias e a incorporação de locais de abrigo nos edifícios onde as pessoas possam refugiar-se e guardar os seus bens em caso de cheias. Ambas opções beneficiariam do desenvolvimento de regulamentação que englobaria restrições de construção com base em zonas de risco de cheias assim como obrigação de construções resistentes a cheias (i.e. integridade estrutural, ligações eléctricas, sistema de esgotos, etc.) pelo menos nos edifícios públicos. Seria uma grande vantagem a respectiva elaboração de um plano de emergência institucional.

A segunda opção para o melhoramento local da resistência as cheias inclui aterros/diques que podem ser construídos para proteger grandes áreas. Como desvantagem a uma abordagem holística, os aterros geralmente restringem as várzeas, resultando na redução da sua capacidade de retenção e consequentemente níveis mais altos de cheias à jusante. Como alternativa a construção de aterros, podem ser construídas, de uma forma resistente, edifícios de pequeno e grande porte, tanto construindo em aterros elevados ou por estacaria elevada. O ultima alternativa tem o menor impacto na redução da capacidade de retenção de cheias ao longo do rio mas não é aplicável para aglomerados sólidos existentes e por outro lado depende da disponibilidade de materiais de construção.

De uma forma geral as recomendações abaixo descritas seguem, tanto quanto possível, o conceito “making room for water” para evitar situações em que as medidas de protecção tomadas à montante pioram a situação de cheias à jusante da bacia. Não obstante, são igualmente dados exemplos estruturais.

2.7.2 Conservação da bacia

As bacias hidrométricas altas e baixas estão em continua degradação a diferentes níveis em Moçambique. As principais razões da degradação são a expansão da agricultura, práticas agrícolas impróprias e actividade mineira descontrolada. A severidade da degradação para Moçambique está indicada na *Figura 2.25*. Enquanto o mapa tem mais de 20 anos de idade e a uma escala maior da um bom panorama básico da degradação das bacias induzida por actividades humanas em Moçambique, mostrando desde níveis de degradação baixos até muito altos.

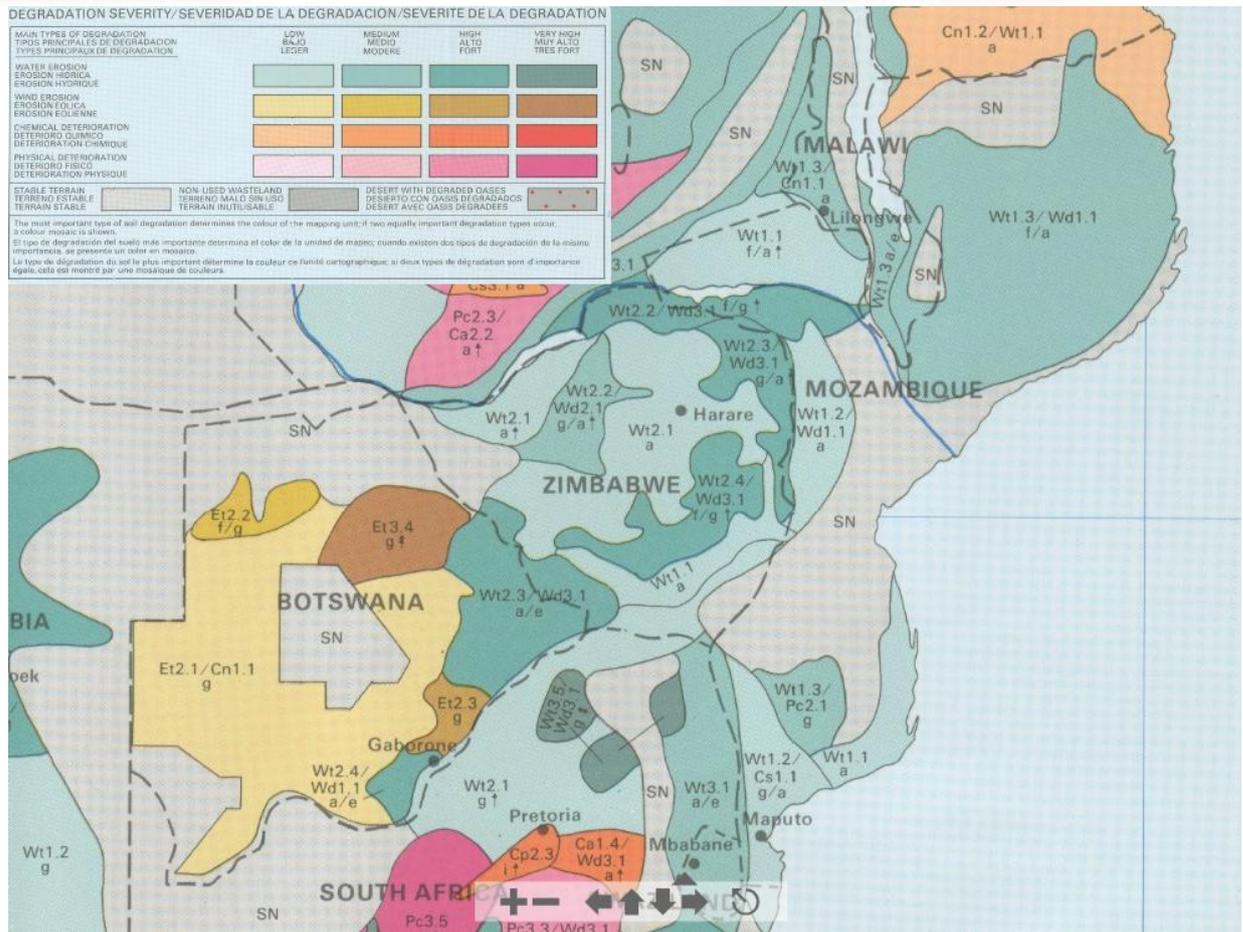


Figura 2-25: Mapa de severidade de degradação para a África Austral incluindo Moçambique (Oldeman et al., 1992)

Considerando o contínuo crescimento populacional pode ser assumido que intensidade de degradação aumentou, como a experiência mostra que o crescimento da população acontece em paralelo com o aumento do uso da terra, aumento das áreas de cultivo, aumento da criação de animais, subida na procura de carvão vegetal e de material de construção assim como de outras actividades que consomem terra tais como, e.g. mineração de pequena escala. Os factores principais que contribuem para a degradação da terra estão relacionados a actividades de cultivo, principalmente produção agrícola em áreas vegetativas e pântanos, causando a degradação e conseqüentemente a perda da capacidade de retenção da seguinte forma:

- Drenagem e pastorícia nos pântanos, reduzindo o efeito de “esponja”
- Alteração da composição do solo e das plantas
- Pobres práticas de conservação da terra resultando em menor infiltração e subida do escoamento superficial
- Reflorestação para a obtenção de lenha, carvão e materiais de construção.

A conservação das bacias, reabilitações e melhoramentos são os aspectos principais numa gestão de risco de cheias sustentável com o efeito secundário de aumentar as reservas de água durante a época seca. Se implementada antes do início da degradação esta seria a opção de gestão de risco de cheias menos custosa e daí a solução mais recomendada. Os aspectos principais são a manutenção de uma boa cobertura vegetal à montante o que aumenta a capacidade de interceptação e retenção bem como de infiltração. Nas bacias intermédias pântanos e várzeas com cobertura vegetal devem ser mantidas porque actuam como “válvulas

de segurança” dos rios. As áreas com boa cobertura vegetal são muito efectivas na subida da infiltração das águas pluviais no solo. Isto reduz o escoamento superficial fluindo para os rios durante as épocas de precipitação intensa, e maximiza a percolação das águas subterrâneas durante os períodos secos. O efeito é mais importante à montante. Quando os rios se inundam os pântanos e pradarias das várzeas espalham a água, reduzem a sua velocidade e absorvem-na como uma esponja, evitando a ocorrência de cheias de pico. De uma forma efectiva, o escoamento superficial fica retardado, consequentemente com níveis de água mais baixos durante a época chuvosa e níveis mais altos durante a época seca.

Para se entender as razões de potenciais perigos associados as cheias é igualmente importante perceber que o aumento do significado do perigo (considerando ambos a sua severidade e frequência) é consequência de dois aspectos. A fraca gestão e uso excessivo da terra que resultam no aumento do escoamento superficial e ainda na subida da densidade populacional à jusante o que satura as bacias com os seus aglomerados criando desta forma condições de perigo.

As acções que promovem a conservação das bacias incluem o seguinte:

- Para as bacias altas à montante:
 - Implementação e aplicação de regulamentos de exploração
 - Implementação e aplicação de regulamentos de uso da terra direccionados a cobertura vegetal
 - Implementação e aplicação de regulamentos de gestão da terra, i.e. praticas agrícolas direccionadas ao plantio em curvas de nível, terraços, melhor preparação do solo e métodos similares de promoção da retenção
 - Promoção da reflorestação
 - Introdução e aplicação de limites de pastagem
 - Introdução e aplicação de regulamentos para e.g. actividade mineira
 - Introdução e regulamentação para actividades de desenvolvimento
 - Protecção de pântanos
- Para as bacias médias e baixas:
 - Implementação e aplicação de regulamentos de construção para manter as edificações fora das várzeas
 - Implementação e aplicação de regulamentos de drenagem de águas pluviais
 - Protecção dos pântanos
 - Implementação e aplicação de regulamentos de pastagem e outros usos da terra

Para além dos estudos técnicos e planeamento necessários para a implementação dos regulamentos, o treinamento e particularmente a sua implementação por longos períodos de tempo são aspectos muito importantes para o alcance dos objectivos pretendidos. As actividades devem ser planeadas em varias etapas, começando por levantamentos exaustivos e planeamento, treinamento do pessoal administrativo nas respectivas administrações, a organização dos departamentos administrativos incluindo as unidades de implementação e execução real com o possível apoio de ONG's locais ou pequenas empresas.

Fixar preços das actividades é difícil e necessitaria de estudos detalhados de quais as bacias a serem tratadas, as condições dentro de tais bacias, a situação dentro da administração local no que diz respeito a mão-de-obra e capacidade, e as formas apropriadas de implementação. O

custo de tal estudo para actividades de conservação da bacia para supostos três sub-bacias piloto estaria na ordem dos 70,000 USD.

2.7.3 Preparação para Cheias

Nas condições em que as representam um problema para as populações, a preparação para eventos de cheias é uma solução directa para diminuir os potenciais perigos associados mas não o risco de cheias. Estudos (Petersen,2009) mostram que acidentes e perdas de vidas humanas podem ser reduzidos significativamente se as populações estiverem conscientes do risco de cheias e estão suficientemente preparadas para eventos de cheias incluindo meios apropriados de reacção. A consciencialização pode ser feita pelos activistas comunitários que fazem treinamentos em grupos. Exemplos de boas práticas incluem o treinamento de pontos focais, após o qual podem disseminar a informação na vizinhança. A informação a ser dada durante tal treinamento/capacitação inclui formas correctas de reacção durante a ocorrência de cheias, identificação de locais seguros, possibilidades de obter ajuda e informação para a tornar as casas mais resistentes a cheias mas também informação de como mobilizar e efectuar o treinamento comunitário. Um treinamento básico para pessoas pontos focais (incluindo a identificação, etc.) dado por uma pequena empresa Moçambicana ou ONG custaria aproximadamente 3000 USD. Os custos poderiam reduzir se realizassem maior número de treinamentos.

Como aperfeiçoamento as actividades de consciencialização, o aviso prévio e mecanismos de alerta podem ser implementados. Existem várias soluções a este respeito. Possibilidades simples incluem o monitoramento dos níveis de água nas estações à montante, com base nas quais, quando ultrapassado um certo nível, serão enviados avisos de cheias para as comunidades à jusante. Soluções mais complexas incluem observações hidrometeorológicas e roteiro de cheias para previsão de detalhada das cheias. Enquanto as possibilidades simples podem ser rapidamente implementadas com menor esforço, a opção dos modelos uma extensiva colecta e tratamento de dados. Como as soluções simples podem significativamente melhorar a situação através de aviso prévio particularmente ao longo de rios longos, seriam as soluções a adoptar em Moçambique a curto prazo. Os custos de tal operação dependerão em grande medida como ela será estruturada. Muitos benefícios de custo poderiam ser alcançados se funcionassem em sintonia com as estruturas administrativas existentes em aglomerados ribeirinhos para os quais deveria ser traçados planos de alerta e responsabilidade.

Como terceiro aspecto, a preparação para cheias inclui também a regulamentação para a construção de infraestruturas e edificações resistentes a cheias e uso de bens. Este tópico está mais elaborado na secção 2.7.7.

Como último aspecto, o plano de emergência é um ponto importante na preparação para situações de cheias. Não obstante ser possível chamar a atenção das populações, prevenir e avisar, dependendo da sua intensidade, as cheias têm um impacto nas populações e requerem intervenção de emergência. O INGC (National Institute for Disaster management) e CENOE (Central Emergency Operations Centre) são instituições publicas Moçambicanas responsáveis pelas intervenções de emergência em caso de cheias e a devida coordenação com outras agências de emergência. A estrutura está bem desenvolvida ao nível do topo (incluindo a recolha e disseminação de informação e responsabilidades) enquanto que ao nível de base os mecanismos de reacção de emergência são pressionados quando as cheias ocorrem. Sugere-se que estas instituições sejam responsáveis pelas actividades de preparação para cheias descritas acima.

2.7.4 Projecto de construção resistente a cheias

Cheias são fenómenos naturais que ocorrem ciclicamente ao longo dos rios como parte dos ciclos hidrológicos anuais. Vários aspectos tem contribuído para o aumento de risco de cheias recentemente (degradação das bacias e mudanças climáticas causadas pela acção do homem sobre a natureza) assim como tem aumentado o potencial perigo associado as cheias (aumento de populações em zonas propensas a cheias). Se não existirem planos para reassentar as populações em zonas fora do perigo de cheias, é necessário pelo menos à médio prazo, aceitar conviver com as cheias e adaptar-se aos problemas disso provenientes. A concepção de resistência as cheias é a forma de mais segura de garantir que as infraestruturas estão equipadas para enfrentar as cheias, para evitar o colapso e para permitir a protecção de vidas e infraestruturas sociais. Existem vários níveis e possibilidades para a concepção de estruturas de protecção contra cheias: Melhoramento da estabilidade estrutural das habitações existentes para evitar o colapso e proteger as propriedades

1. Melhoramento da Resistência as cheias das habitações existentes ou novas planeando contra cheias
 - a. A devida colocação e salvaguarda e.g. dos serviços de energia, águas e esgotos acima do nível das águas ou protegidos das águas das cheias
 - b. A construção de locais seguros para acomodar com segurança os habitantes e algumas infraestruturas durante as cheias
2. Aperfeiçoamento do projecto de habitações novas através de:
 - a. Construção em estacaria de madeira elevada
 - b. Construção em aterros elevados

Como os itens 1. e 2. são descritos por ONG's que trabalham em Moçambique (e.g. Concern, Save the Children) este estudo focaliza-se no item 3. Aperfeiçoamento de novas habitações - Basicamente duas opções seriam apropriadas para Moçambique que seriam construção em estacaria elevada ou construção em aterros elevados. Enquanto a primeira opção é restrita a áreas com abundância de madeira apropriada a preços acessíveis, a última opção é basicamente apropriada a qualquer local. Enquanto as habitações de estacaria elevada requerem maior investimento capital, a construção de habitações com aterro elevado requer mais mão de obra e ligeiramente mais espaço. As habitações de estacaria elevada têm a vantagem de não restringirem as águas das cheias, mas com a desvantagem do seu tempo de vida relativamente mais curto.

As habitações de estacaria elevada de apenas um piso (estruturas leves) devem ser construídas de madeira com pelo menos 10 cm de diâmetro e ancoradas a uma profundidade mínima de 1 m. Em média, uma estaca por m² de habitação deve ser usada e as estacas equipadas com uma base de madeira na extremidade com o mesmo diâmetro e reforçado de elementos diagonais em orientação triangular ao longo dos três eixos da habitação (x/y e z). Se estacas de maior diâmetro estiverem disponíveis, a distância entre as estacas pode ser aumentada de acordo com o aumento do diâmetro das estacas. As estruturas de estacaria elevada de madeira podem geralmente ser erguidas até a uma altura de 2 metros. São possíveis maiores alturas mas necessitam maiores profundidades de fundação e cálculos mais detalhados na elaboração do projecto de fundações. A altura necessária dependeria dos níveis de cheias previstos para a construção das edificações. A resistência aos impactos não é considerada neste tipo de projecto típico. Uma estrutura típica apresenta-se na *Figura 2.26*.

Com base nas informações obtidas de ONG's que trabalham nas áreas rurais de Moçambique, a obtenção de uma estimativa de custos para uma habitação típica não é possível pois os preços

dependem largamente da disponibilidade local de madeira e experiência da mão-de-obra (dos artesãos) locais. Enquanto que nalgumas áreas as habitações são de facto construídas, noutras áreas seria bastante difícil a sua implementação.

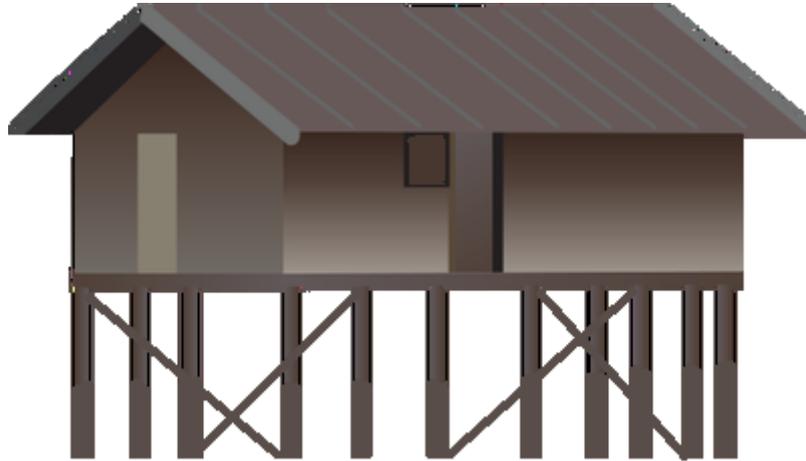


Figura 2-26: *Habitação típica de estacaria elevada*

As habitações de aterros elevados são apoiadas em volumes de terra que formam uma base elevada para a edificação. As habitações de aterro elevado são mais duráveis que as de estacaria elevada e necessitam dum significativo movimento de terras para uma maior, mas menos qualificada mão-de-obra. Estas habitações têm o efeito de reduzir a área de retenção das cheias embora a uma menor escala que os diques. As habitações de aterro elevado devem ser concebidas para uma altura que reflecte níveis seguros acima dos níveis de cheia conhecidos localmente. Não há restrições quanto a altura das habitações de aterro elevado embora, o seu custo aumente com a altura pois as inclinações do aterro devem ter o mínimo de 45°. Os aterros são construídos em camadas que subsequentemente são compactadas a um nível prescrito. A espessura das camadas depende do material e equipamento de compactação. Supondo uma areia argilosa e compactação manual, a espessura da camada seria 5-7 cm. Um espaço mínimo de 2m deve ser mantido à volta da casa. O acesso a habitação deve ser feito por uma escada construída no aterro. Todas as outras áreas do aterro devem ser impedidas de acesso para minimizar a erosão dos seus taludes. Uma habitação de aterro elevado típica é apresentada na *Figura 2.27*. Devido a área de implantação necessária para habitação, estas são mais apropriadas aglomerados espalhados ou áreas isoladas. Como alternativa, estas habitações podem ser alargadas para incluir várias unidades habitacionais ou construídos como uma vila de refúgio separada das habitações normais para providenciar albergue em tempos de cheias. Para permitir albergue, e ao mesmo tempo aumentar a consciência sobre cheias, novos edifícios educacionais poderiam ser construídos em tais habitações comunitárias. Ainda para mais, os suprimentos/mantimentos de emergência poderiam ser armazenados nestes edifícios.



Figura 2-27: O projecto típico de uma habitação de aterro elevado

Do mesmo modo são possíveis combinações de estacaria elevada e aterro elevado onde uma cave pode ser incluída no aterro que permitiria armazenamento. Dependendo da técnica de construção usada para a cave é provável que ela fique inundada pela percolação de águas subterrâneas durante as cheias e por isso não se pode considerar como um local seguro para armazenamento.

O custo de habitações de aterro elevado difere largamente dependendo das circunstâncias locais e a maneira como elas podem ser erguidas. As opções vão desde a promoção de trabalho comunitário ao envolvimento de empreiteiros comerciais. Respectivamente os custos podem ir de zero ou incentivos ao trabalho comunitário até 10 USD/m³ se o material tiver que ser transportado a uma distância significativa por equipamentos pesados. Como exemplos:

- Um aterro para uma habitação com uma área superficial de 70 m² (7x10m) e uma elevação de 2.0 m resulta num volume de aproximadamente 210 m³. Se construído por um empreiteiro comercial os custos poderiam atingir aproximadamente os 2,000 USD
- Um aterro feito como refúgio comunitário com uma área superficial de 10,000 m² (100x100m) e 2.0m de elevação resultam num volume de aproximadamente 20,800 m³. Se construído por um empreiteiro comercial os custos poderiam atingir até 200,000 USD

Os preços dependem fortemente do número de habitações de aterro elevado a serem construídas bem como das distâncias de transporte dos materiais e a existência de empreiteiros na área. As cotações são baseadas nas cotações de um empreiteiro regional; empreiteiros locais podem ser mais baratos mas tudo dependerá das circunstâncias.

2.7.5 Aperfeiçoamento das estruturas de retenção de cheias existente

Estruturas de retenção de cheias já existem em Moçambique na forma de grandes e pequenas barragens e descarregadores ao longo dos canais principais assim como os seus afluentes. Ambas barragens e descarregadores não são geralmente operadas para a retenção de cheias mas sim para o armazenamento de água e por isso são mantidos nos níveis máximos sempre que possível. Para se usar as barragens e descarregadores para a retenção de cheias, é necessária a existência de espaço de armazenamento durante as cheias. Isto pode ser atingido através de três mecanismos.

1. Um nível baixo de alagamento que pode ser controlado através de descargas que estão relacionadas com os fluxos médios do rio, i.e. a água é descarregada a taxa do caudal médio de entrada de tal forma que na condição de caudais médios, a água é basicamente descarregada directamente e não é retida. Somente se o fluxo de entrada exceder a capacidade de saída a água pode ser retida. Este tipo de arranjo não precisa de nenhum controle uma estabelecidos os parâmetros do projecto. Nenhuma água é armazenada durante a prevalência das condições de fluxos médios.
2. A utilização normal dos reservatórios, com níveis de altos de armazenamento, mas com um esquema de operação que pode reagir durante avisos de inundação. Em caso de aviso de cheias a água poderia ser descarregada do reservatório cheio antes de chegada da onda de cheias de modo a criar espaço de retenção. A operação deve ser bem planeada e necessita de grandes medidas de controle e depende das previsões meteorológicas de bom tempo e de cheias para atingir os seus objectivos. Quase no fim da onda de cheias, a descarga do reservatório pode ser reduzida para manter o reservatório cheio no fim da inundação.
3. As retenções de cheias incluem igualmente várzeas, i.e. áreas que ficam inundadas quando ocorrem cheias. Em alguns locais os caminhos de passagem da água para estas áreas foram restringidos e foram cortadas várzeas. A abertura destas várzeas e por consequente a criação de espaço de retenção reduziria significativamente as cheias à jusante. É portanto importante ter uma visão holística da bacia por forma a decidir quais os trechos que devem ser protegidos ao longo do rio e onde as cheias devem ser permitidas de modo a proteger áreas à jusante.

2.7.6 Estruturas de defesa contra cheias

Estruturas de defesa contra cheias são meios físicos que previnem a água de curso de água de inundar uma área adjacente, barrando a entrada de água. É necessário entender que com estas acções, as várzeas são cortadas resultando na redução da área de retenção e numa forte propagação da onda de cheias à jusante, e consequentemente a níveis de cheia mais altos e danos consideráveis. Falando de defesas contra cheias é muito importante entender que construir uma estrutura de protecção num local poderá aumentar o risco de cheias à jusante desse local. Por isso as medidas de defesa contra cheias devem ser devidamente planeadas de forma holística, tendo em conta toda a bacia hidrográfica, e na medida do possível limitando as áreas protegidas.

A protecção contra o colapso estrutural é importante nas defesas contra cheias. Áreas que estão protegidas são geralmente consideradas “seguras” de tal forma que o colapso da defesa teria consequências serias para as pessoas e bens nas imediações dessa estrutura de defesa. Diques de terra são o meio mais pratico e com tecnologia de baixo custo para protecção de cheias é também à luz do risco de colapso. Como os diques não podem ser projectados para resistir “qualquer” evento, eles devem ser construídos de tal forma que sejam resistentes a erosão interna e galgamento. Secções transversais típicas de diques apresentam-se na *Figura 2.28*. O perfil da secção transversal a ser seleccionado depende do tipo de material e disponibilidade no local assim como da disponibilidade de espaço. Inclinações mais ligeiras (1:3) são preferidas sob o ponto de vista de durabilidade e estabilidade contra percolação e galgamento. Não obstante, os requisitos de material e espaço são maiores para este tipo de secção transversal, tornando-a na opção mais cara. Diques com inclinações mais acentuadas (1:1) ocupam menos espaço com a mesma altura e necessitam de menos material mas por outro lado requerem manutenção cuidadosa e são problemáticos durante longos períodos de inundação. Como exemplo, um dique

com mais de 1000m comprimento, 3.0 m largura no topo e 2.0 m de altura, 1:1 de inclinação resultaria em 10,000 m³ de solos necessários enquanto que com 1:3 de inclinação seriam necessários 18,000 m³.

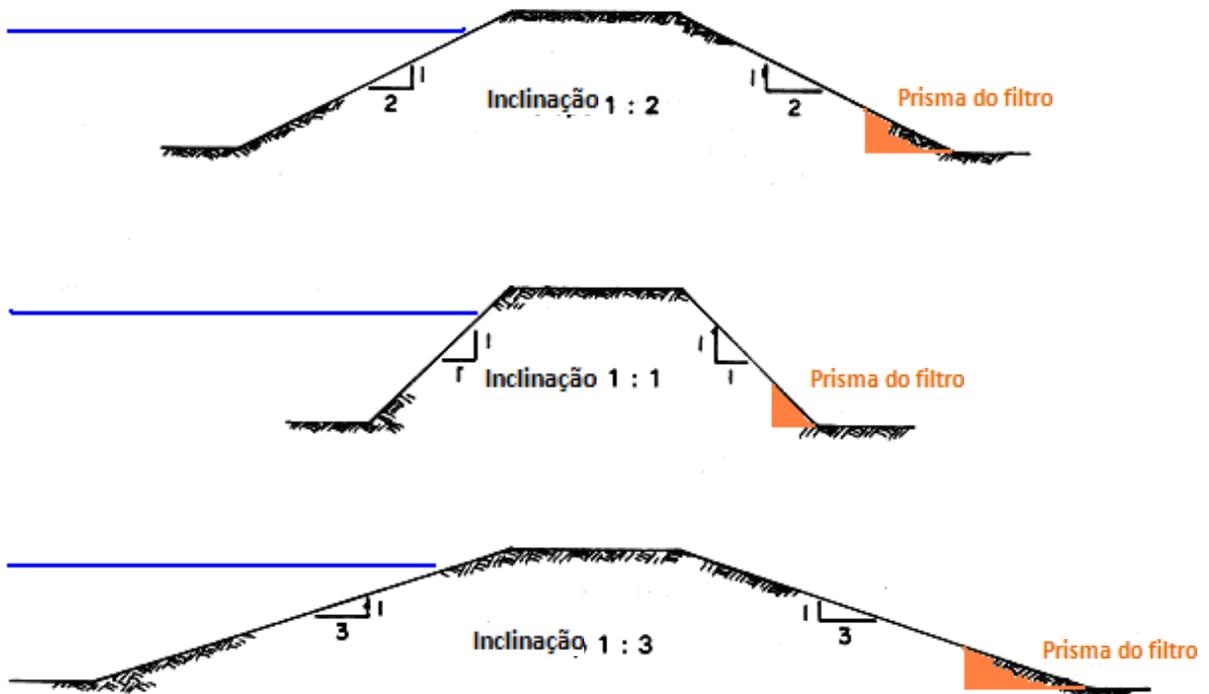


Figura 2-28: Secções transversais típicas dum dique.

Uma boa solução para os diques é uma inclinação de 1:2. De forma a resistir a erosão, os taludes precisam de ser protegidos com cobertura de capim grosso e de acesso restrito. Qualquer solo exposto nos taludes seria susceptível a erosão e em caso de galgamento risco de rombo com o rápido alagamento das áreas protegidas. De modo a diminuir o risco, podem ser construídas secções dos diques com menor elevação onde as descargas irão se concentrar. Estas secções poderiam ser preparadas com inclinações mais suaves e particularmente protecção superficial.

A altura dos diques de protecção deveria ser estabelecida através da Avaliação do Risco de Cheias (FRA) com base na qual, seriam estabelecidas as alturas dos diques. A natureza inclinada dos níveis de água ao longo do dique deve ser tomada em conta. O projecto deve ser testado através de modelos como parte do FRA. A largura da base do dique depende da sua altura em combinação com a sua inclinação. Para a largura do topo deve ser usado o mínimo de 3.0 m para permitir acessibilidade e resistência suficiente contra galgamento e percolação. Nos casos em que o dique serve vários propósitos e.g. estrada, poderão ser usadas secções mais largas.

Drenos no sopé do dique são um importante instrumento a ser considerado no seu dimensionamento. Como procedimento padrão, deve-se incluir, na secção transversal do dique um filtro de areia com cerca de 0.5 m de altura.

A construção de diques deve ser feita com solos apropriados que contenham um teor de argila suficiente. O corpo do dique deve ser construído em camadas colocadas sucessivamente e bem compactadas. A ligação entre as camadas deve ser garantida através da escarificação da

superfície da camada anterior antes da colocação da camada seguinte. Para se alcançar a compactação desejada, o teor de humidade do solo deve ser ajustado na maioria dos casos. Antes da colocação da primeira camada deve-se retirar toda a vegetação da fundação do dique e aplicação do mesmo método (escarificação e ajustamento do teor de humidade) como para as camadas subsequentes. O procedimento exacto deverá ser estabelecido dependendo das propriedades do solo e equipamento de construção disponível no local.

2.7.7 Políticas de desenvolvimento

As políticas de desenvolvimento no que respeita aos regulamentos de construção e infraestruturas resistentes as cheias e de uso de bens são instrumentos valiosos na redução dos impactos das cheias. Com o estabelecimento de regulamentação sobre onde (e onde não se deve) e como se devem erguer estruturas e bens quem deve (ou não deve) usa-las, o risco associado as cheias pode ser minimizado assegurando a estabilidade estrutural e uso apropriado. O British Planning Policy Statement 25 (PPS 25), publicado pelo governo Britânico (2010) é um bom exemplo de políticas de planeamento com ênfase em resistência as cheias. O documento descreve os principais objectivos do planeamento, uma abordagem de avaliação de risco, princípios de tomada de decisões e responsabilidades no contexto de um plano de desenvolvimento físico.

A elaboração de directrizes de planeamento apropriadas a Moçambique deveria tomar em conta as condições locais e particularmente focalizando na situação dos dados de base e na implementação das directrizes de planeamento. Os maiores desafios seriam a aquisição de dados de base incluindo a estruturação e operação das respectivas estações de monitoria assim como o estabelecimento de departamentos locais e regionais competentes para lidar com as tarefas no local.

Foram preparados princípios de políticas de desenvolvimento para áreas rurais e pequenas cidades de Moçambique (aplicável a ambos novos empreendimentos assim como a alterações em empreendimentos existentes) com base no PPS25, adaptado do governo Britânico (2010), considerando a praticabilidade para Moçambique. Tais princípios são representados no Anexo 2.4.

A elaboração de uma política completa e aceitável com o envolvimento das partes interessadas e de agências governamentais em Moçambique requereria enormes esforços e capacitação das instituições governamentais e administrações locais envolvidas. Ainda mais, deveriam se fazer compromissos de modo a garantir a sustentabilidade na implementação das novas políticas.

2.7.8 Casos de estudo

Em Moçambique três locais, nomeadamente, Caia, Tete e Chokwe onde as cheias constituem um problema devido ao seu impacto e frequência foram escolhidos para estudos detalhados de alternativas de alívio ao risco de cheias. Foram feitas longas consultas antes da identificação dos três locais. O resultado deste tópico foi vago o que reflecte a situação geral em Moçambique com ocorrência de cheias em vários locais. Em Janeiro de 2012, foram consultados onze indivíduos que poderiam providenciar informação sobre os locais mais apropriados para a construção de obras protecção contra as cheias assim como de métodos apropriados de construção e ainda dos custos de construção. Devido ao facto das cheias serem genéricas em

Moçambique, os resultados não foram explícitos e apenas locais particularmente indicados foram a volta do Chókwè, Lionde e Guija no Limpopo assim como em Tete e Caia no Zambeze.

Os locais são representativas de Moçambique pelas seguintes razões:

1. Não dispõem de dados de informação necessária para uma detalhada avaliação de risco de cheias e por forma a avaliar os riscos reais de cheias
2. Não dispõem monitoria hidrometeorológica à montante, o que permitiria prevenção e alerta
3. Deparam com a deterioração da situação de cheias devido a degradação das bacias à montante
4. Estariam melhor protegidas das cheias através do aperfeiçoamento de infraestruturas de controlo de fluxo à montante

No entanto, existem alternativas para os locais incluindo:

1. Consciencialização das populações
2. Actividades de conservação das bacias à montante
3. Aperfeiçoamento de infraestruturas de controle de caudais para fins de retenção
4. Aperfeiçoamento das infraestruturas de defesa contra cheias

Uma recomendação geral dada incluiu a causada pelos fortemente debatidos assuntos de cheias e recursos limitados, a prioridade seria manter as populações fora das áreas susceptíveis a cheias através implementação de planos de desenvolvimento. Os reassentamentos, por outro lado, não tiveram muito sucesso pois as populações mostram tendência de regressar as zonas de origem.

No diz respeito a métodos apropriados de construção os resultados foram diferentes. Os aterros elevados foram de forma geral vistos como boa solução para vilas. Os diques foram vistos como parcialmente positivos, em parte devido a sua vulnerabilidade ao rombo e inundação de áreas que se poderiam considerar protegidas. A construção de estacaria elevada foi quase posta de fora devido a falta de madeira ou outros materiais e o seu custo elevado. Por outro lado, o reforço dos edifícios existentes e a construção de plataformas elevadas dentro de tais edifícios para armazenar bens foi proposta para áreas onde apenas pequenas cheias se esperavam.

Quanto aos custos de construção, a dependência dos custos a localização das áreas foi enfatizada com forte influencia nos custos.

Para os primeiros três pontos acima indicados já foram dadas recomendações gerais nos capítulos anteriores. No que se refere ao aperfeiçoamento de defesas contra cheias, já foi adquirida informação detalhada que se descreve abaixo. Considerando a situação nos locais piloto seleccionados i.e. Caia, Tete e Chokwe, diques de terra homogéneos são preferidos como a medida apropriada de protecção contra cheias. Para fins do presente estudo, as intervenções foram vistas de forma isolada e não foram investigados os efeitos a jusante devido a restrição de dados. Antes do inicio de qualquer obra de construção, deve-se fazer uma avaliação de risco de cheias detalhada, com os respectivos dados de entrada (input) para avaliar os parâmetros do projecto e os impactos das obras de construção. Para se chegar a uma estimativa de custos foram feitas as seguintes suposições:

Os diques são construídos por um corpo homogéneo, com 3 m de largura da crista e 1:2 de inclinação dos taludes. Quanto a altura necessária, são analisados 2 casos, com 3 m (Caso 1) e 5 m (caso 2) de altura com áreas de secção transversal de 27 m² e 65 m² respectivamente. Para ambos os casos foi considerada uma distancia de acesso de 4km. Os custos de tais diques encontram-se nas *Tabela 2-4* e *Tabela 2-5*. Foi suposto, nos cálculos, livre acesso aos materiais

de construção, as estimativas de custo são baseadas em cotações de empreiteiros regionais. Dependendo das circunstâncias, os empreiteiros locais poderão oferecer cotações mais baratas apesar da sua eficiência ter que ser cuidadosamente avaliada.

Tabela 2-4: Descrição de custos para o Caso 2 secção do dique (3m de altura do dique)

Secção Transversal	Comprimento	Volume	Corte	Dist.a origem	Total	Área de formato	Inclin.de formato	Vegetação	Total
m2	M	m3	USD/m3	km	USD/m3/km	m2	USD/m2	USD/m2	USD
27	1,000**	27,000	8.67	4	0.44	16.4	1.73	0.87	218,563
Custos indirectos (incl. mob, desmob, supervisão, etc.)*								20%	56,313
subtotal									337,875
VAT								17%	57,439
Total									395,314

Tabela 2-5: Descrição de custos para o Caso 2 secção do dique (5m de altura do dique)

Secção transversal	Comprimento	Volume	Corte	Dist.a origem	Total	Área de formato	Inclinação de formato	Vegetação	Total
m ²	M	m ³	USD/m ³	km	USD/m ³ /km	m ²	USD/m ²	USD/m ²	USD
65	1,000**	65,000	6.5	4	0.33	25.4	1.3	0.65	677,799
Custos indirectos (incl. mob, desmob, supervisão, etc.)*								20%	135,560
subtotal									813,359
VAT								17%	138,271
Total									951,630

*Os custos indirectos dependerão em larga escala na localização da área em relação a base do empreiteiro i.e. os empreiteiros locais poderão oferecer menores custos de mobilização e desmobilização.

** Para efeitos comparativos, foi suposto um comprimento do dique de 1 km. A percentagem de custos indirectos pode ser reduzida com o aumento do comprimento do dique

2.7.9 Recomendações

Nos capítulos acima foram discutidas varias opções de protecção contra cheias, enfatizando os seus benefícios assim como as suas desvantagens e estimativas de custo. Enquanto a uma escala menor e tendo em conta os problemas persistentes, algumas medidas de protecção contra cheias são inevitáveis, sendo que deverão empreender-se esforços para melhorar de forma sustentável a situação de cheias por um horizonte mais longo através da reabilitação das bacias a montante e providenciando retenção das águas das cheias com suporte de políticas de desenvolvimento e sua devida implementação. Deve-se evitar a abordagem de protecção contra cheias apenas através da construção de diques pois os efeitos negativos de mudanças hidrológicas a jusante assim como dentro das áreas protegidas são imensos e podem gerar problemas noutros locais. Enquanto os investimentos devem ser abordados caso a caso tendo em conta a situação da bacia, a melhor opção para aumentar a resistência das populações as cheias é vista como uma combinação de intervenções técnicas de pequena escala acompanhadas de aumento da área de retenção em grande escala através de conservação das bacias. Poderão obter-se benefícios adicionais múltiplos promovendo a construção de descarregadores e pequenas barragens ao longo dos afluentes o que nos conduzira a um

aumento das reservas de abastecimento de águas e na criação de áreas de retenção. Como será necessário espaço para tais intervenções, deverão ser implementadas políticas de regulação ao consumo de espaços em áreas reservadas à água. Em detalhe, a seguinte combinação de intervenções seria aconselhável, de acordo com o conceito “living with floods”:

1. Pequenos diques, aterros elevados para habitações e protecção das comunidades
2. Conservação das bacias a montante
3. Desenvolvimento de políticas de exploração
4. Descarregadores de superfície e pequenas barragens para a retenção de cheias
5. Adaptação da operação de grandes barragens
6. Desenvolvimento de sistemas de previsão e alerta
7. Preparação das populações

As medidas destinam-se à prevenção das cheias através de uma visão holística e geral da bacia e necessita de avaliações detalhadas da bacia a montante e reabilitação assim como o potencial de retenção. O potencial crescimento populacional futuro e a respectiva mudança de uso de terra e tendências de degradação devem ser tomados em conta. Seria de esperar que medidas de protecção da bacia a montante teriam influência significativa na retenção de cheias e desta forma aliviando cheias em locais de risco com benefícios directos para as populações ribeirinhas.

2.8 CONCLUSÕES

A situação actual e mapas de mudanças climáticas foram produzidos para os rios Zambezi, Pungwe e Limpopo para fluxos com períodos de retorno de 2 e 20 anos. Os mapas estão restritos a estes fluxos uma vez que os caudais de mudanças climáticas da fase I do INGC estão apenas disponíveis para estes dois eventos. Os dados existentes são bastante limitados e de fraca qualidade para se estabelecer modelos hidráulicos 1D e 2D. Foram usadas várias abordagens para aperfeiçoar a qualidade dos dados topográficos, para se encontrar as gamas de dados mais plausíveis e para se considerar as incertezas. Este esforço resultou numa maior exactidão das simulações de cheias comparado com o uso da informação original. A avaliação de incertezas espacialmente distribuídas é valiosa para as áreas ao longo de cada rio onde os resultados das simulações mais ou menos certas. Geralmente, deve ser enfatizado que o mapeamento de cheias com os dados disponíveis causa imensas incertezas nos resultados. Deve-se destacar que os resultados devem ser tratados com cuidado e não devem ser usados na tomada de decisão final ou para efeitos de dimensionamento de infraestruturas. No uso dos mapas para o planeamento de mitigação e estratégias de gestão é importante manter em mente os seguintes aspectos:

- 1) Devido à falta de exactidão nos dados topográficos e de caudais não é possível indicar-se as profundidades das cheias. Os resultados do presente estudo não poderão portanto, ser usados para calcular as alturas das defesas contra cheias. Os mapas poderão apenas ser usados para distinguir as áreas que estão potencialmente sob risco de cheias das áreas que potencialmente não estão sob risco de cheias.
- 2) As camadas de inundação produzidas são sobrepostas aos mapas topográficos do Soviet Military Mapping pois não existem outros dados topográficos disponíveis. A sua precisão não é padronizada e os objectos e contornos dos mapas podem ou não representar a sua real localização. Para além disso, as cidades e vilas podem ter crescido ao longo dos anos recentes.
- 3) Os modelos são calibrados e validados de acordo com os mapas do the Dartmouth Flood Observatory (DFO) produzidos a partir de imagens de satélite. Deve-se manter em

mente que a vegetação densa e alta pode cobrir áreas inundadas em tais imagens. Por isso as cheias modeladas, particularmente no delta do Zambeze podem ser subestimadas devido a este aspecto.

- 4) A grandes diferenças regionais nas projecções de fluxos de mudanças climáticas, a probabilidade de ocorrência do cenário A2 e as incertezas envolvidas no modelo de impactos climáticos em geral (Quiggin 2008) devem ser aqui assinaladas. Deve ser efectuada uma continua actualização dos mapas de cheias direccionada a novos resultados de investigação de mudanças climáticas.
- 5) Pequenas alterações nos fluxos de cheias e.g. dos dados de base aos fluxos de mudanças climáticas, mostram apenas um pequeno impacto nas inundações. Isto deve-se ao facto da resolução vertical do SRTM restringir-se unidade métrica complete i.e. metros apenas. Por isso, se o aumento ou redução dos fluxos não alteram o nível de água em mais de 1 m, a extensão das inundações pode ser a mesma para caudais diferentes.
- 6) As fraquezas de uma abordagem unidimensional (ver capítulo 2.4.3) são aparentes nas várzeas largas. Os meios para ultrapassar este problema são os modelos hidráulicos 1D-2D em combinação com a colecta adequada de dados.
- 7) Os resultados apresentados para as cidade de Tete, vila de Caia e Chókwè são baseados nas mesmas fontes de dados e como tal, tem as mesmas limitações que os mapas de cheias dos rios.
- 8) Só foi possível produzir os mapas para períodos de retorno de 2 e 20 anos devido a limitações na previsão dos fluxos de mudanças climáticas.
- 9) Recomenda-se a obtenção de avaliações de impacto de mudanças climáticas para fluxos com maior período de retorno para operar os modelos com eventos mais intensos. Tais fluxos de mudanças climáticas poderiam potencialmente ser produzidos pelo DSS, desenvolvido na Subcomponente 1. A combinação do modelo hidráulico com o DSS seria um passo eficaz.

Os mapas disponíveis podem entretanto ser usados para identificar áreas promissoras para o desenvolvimento ou construção de defesas contra cheias. Tais áreas devem ser profundamente avaliadas individualmente usando uma Avaliação do Risco de Cheias (FRA) local após a devida colecta de dados. O FRA apresentado é um exemplo de tal investigação detalhada. Entretanto, devem estar disponíveis dados topográficos e hidrológicos de alta resolução, antes da realização de estudos similares.

De uma forma geral, os mapas de cheias são superiores aos mapas anteriormente elaborados no sentido de que os cálculos hidráulicos efectuados e mapeamento de cheias tem maior precisão devido a inclusão de estimativas de profundidades do canal e correcções do DEM em áreas florestais e de infraestruturas densas. Para além disso, os mapas são produzidos para cenários de base e de mudanças climáticas e contêm avaliações de incertezas espacialmente distribuídas. Pelo nosso conhecimento, esta informação não existia antes deste estudo.

Para melhorar a situação de cheias foi proposto o conceito “making room for water”. Será inevitável a construção de estruturas de defesa contra cheias a uma escala local para áreas de grande valor económico, mas esforços devem ser implementados para a sua minimização e concentração numa visão holística incluindo a conservação das bacias e várzeas com ajuda de políticas de desenvolvimento para as quais existem directrizes. É essencial perceber que a crescente ocorrência de cheias seria ainda pior com a construção de defesas em grande escala que por sua vez iriam aumentar as cheias à jusante enquanto que a conservação das bacias tem

grandes benefícios não apenas na redução das cheias mas equilibrando os fluxos anuais e aumentando a disponibilidade de água para a agricultura.

2.9 TREINAMENTO EM MODELAÇÃO DE CHEIAS

Foi dado um curso de formação com a duração de 5 dias na Universidade Eduardo Mondlane, em Maputo de 16 a 20 de Abril 2012. A *Tabela 2-4* mostra a lista dos formandos, identificados e indicados pelo INGC. Os objectivos do curso incluíram, entre outros, a familiarização com a metodologia do modelo de cheias, o conhecimento básico dos princípios do modelo HEC-RAS, o mapeamento de cheias completo com o RAS Mapper, a elaboração do mapa de cheias com o ArcGIS e o entendimento da capacidades, incertezas e limitações dos mapas. A formação foi feita de forma flexível e iterativa de modo a encorajar a troca de experiências, debates e dando oportunidade para perguntas durante todo o curso.

Tabela 2-6: *Participantes na formação em modelagem de cheias*

Nome	Apelido	Instituição
Aginaldo	Bila	INGC/CENOE
Anastacio	Magumane	
Brazao	Mendes	INGC
Elias	Barros	INGC
Elidio	Massuanganhe	EMU
Felisberto	Afonso	EMU
Igor	Honwana	INGC
Isac	Filimone	DNA
Isaías	Raiva	INAM
Isaías	Vilanculo	EMU
Luísa	do Céu Ricardo da Conceição	DNA

2.10 AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos Senhor(a)es Kwabena Asante, Murthy Bachu, Rimma Dankova, Carlos Júlio Mbenzane, Rute Nhamucho, Mark Tadross, Tatiana Mata, Simon Palmer e Fernanda Zermoglio pelo apoio, debates e gentil fornecimento de dados.

2.11 REFERÊNCIAS

- ASTER. 2011. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, ASTER GDEM. METI and NASA. www.gdem.aster.ersdac.or.jp (accessed Feb. 2012).
- BBC. 2001. Race to help flood victims. British Broadcasting Corporation NEWS. World Africa. www.news.bbc.co.uk/2/hi/africa/1201127.stm (accessed Dec. 2011).
- Beilfuss R, DosSantos D. 2001. Patterns of Hydrological Change in the Zambezi Delta, Mozambique. Working Paper#2, Program for the sustainable management of Cahora Bassa Dam and the lower Zambezi Valley. 159p.
- Beilfuss R. 1999. Can This River Be Saved? Rethinking Cahora Bassa Could Make a Difference for Dam-Battered Zambezi. *World Rivers Review*. 5p.
- Berger RC, Tate JN, Brown GL, Savant G. 2011. Adaptive Hydraulics – A two-dimensional modeling system, Users Manual, Guidelines for Solving Two-Dimensional Shallow Water Problems, AdH Version 4.01. USACE CHL-ERDC, Vicksburg. 1-90.
- Brunner GW. 2011. What's new with HEC-RAS. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers. USACE Infrastructure Systems Conference, 13-17 June, Atlanta.
- Casas A, Benito G, Thorndycraft VR, Rico M. 2006. The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. *Earth Surface Processes and Landforms* 31. p.444-456.
- CGIAR. 2003. Limpopo Basin Profile. ARC-Institute for Soil, Climate and Water, ARC-Institute for Agricultural Engineering. 49p.
- Chow VT. 1959. *Open-Channel Hydraulics*. 680p.
- DEFRA. 2006. Flood Risks to People, Phase 2. Guidance Document. Defra/Environmental Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme. 91p.
- DFO. 2011. The Dartmouth Flood Observatory. Inundation maps. <http://floodobservatory.colorado.edu> (accessed Jul. 2011).
- DNA. 2011. Flow data from the Direcção Nacional de Águas, Mozambique. Contact person: Rute Nhamucho.
- Gosnell JM, Yeatman R, Bester T, Hester JW. 2001. Land forming on flat clay soils for improved sugarcane yields. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.* 75. 248-249.
- GRM, GRZ. 2006. A monograph of the Pungwe River Basin – light edition. Government of the Republic of Mozambique, Government of the Republic of Zimbabwe. 30p.
- Hicks FE, Peacock T. 2005. Suitability of HEC-RAS for Flood Forecasting. *Canadian Water Resources Journal* 30(2). 159-174.
- INGC. 2009. Main report: INGC Climate Change Report: Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique. [Asante, K., Brundrit, G., Epstein, P., Fernandes, A., Marques, M.R., Mavume, A., Metzger, M., Patt, A., Queface, A., Sanchez del Valle, R., Tadross, M., Brito, R. (eds.)]. INGC, Mozambique. 338p.
- Jarvis A, Reuter HI, Nelson A, Guevara E. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database. <http://srtm.csi.cgiar.org> (accessed Jul. 2011).
- Kiesel J, Schmalz B, Savant G, Fohrer N. 2012. Across the scales: from catchment hydrology to instream hydraulics. 10th International Conference on Hydroinformatics, HIC 2012, Hamburg, GERMANY, submitted.
- LBPTC. 2010. Joint Limpopo River Basin Study Scoping Phase. Final Report. Main Report. Limpopo Basin Permanent Technical Committee. 91p.

- OPENTopo. 2011. OpenTopography. A portal to High-Resolution Topography Data and Tools. <http://opentopo.sdsc.edu>. The Forks data from: Plate Boundary Observatory (PBO) by NCALM (<http://www.ncalm.org>). PBO is operated by UNAVCO for EarthScope. (accessed Oct. 2011)
- Petersen G. 2009. Application Guide for Managing Extreme Flood Events – Analysing, Forecasting, Warning, Protecting and Informing. UNESCO-IHP/WMO-HWRP Series 9, ISSN 1614-1180 available at http://ihp.bafg.de/servlet/is/15627/RIMAX_lowres.pdf
- Quiggin J. 2008. Uncertainty and Climate Change Policy. *Economic Analysis & Policy* 38(2). 203-210.
- RCSA, USAID. 2002. Limpopo River Basin Fact Sheet 1. Regional Centre for Southern Africa, United States Agency for International Development. 4p.
- Riahi-Madvar H, Ayyoubzadeh SA, Atani MG. 2011. Developing an expert system for predicting alluvial channel geometry using ANN. *Expert Systems with Applications* 38. 215-222.
- RMSI. 2009. Mozambique: Economic Vulnerability and Disaster Risk Assessment. Final Report and annexures. Risk Management Services India. Financed by World Bank. 52p.
- Rosgen DL. 1994. A Classification of natural rivers. *Catena* 22. 169-199.
- SRTM. 2000. Shuttle Radar Topography Mission. NGA and NASA. www2.jpl.nasa.gov/srtm (accessed Jul. 2011).
- SWECO, ICWS, OPTO, SMHI, NCG, CONSULTEC, IMPACTO, UCM, Interconsult Zimbabwe. 2004. Development of the Pungwe River Basin joint integrated water resources management strategy, Monograph Report Annex II. Sector Study on: Hydrometric Networks. Final Report. SWECO & Associates. 44p.
- Tayefi V, Lane SN, Hardy RJ, Yu D. 2007. A comparison of one- and two- dimensional approaches to modelling flood inundation over complex upland floodplains. *Hydrological Processes* 21, 3190-3202.
- Tarekegen TH, Haile AT, Rienthes T, Reggiani P, Alkema D. 2010. Assessment of an ASTER-generated DEM for 2D hydrodynamic flood modelling, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (12). 457-465.
- UK Government 2010, Planning Policy Statement 25, Development and Flood Risk, Crown Copyright
- USACE. 2010. HEC-RAS, River Analysis System, User's Guide, Version 4.1. US Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center. 790p.
- USA-WO 1958 Soviet Topographic Map Symbols. TM 30-548. United States of America War Office. Headquarters, Department of the Army. 102p. <http://cluster3.lib.berkeley.edu/EART/pdf/soviet.pdf> (accessed Feb. 2012).
- Walsh M, Benning N. 1998. Defining flood hazard in urban environments. NSW Department of Land and Water Conservation. 8p.
- Van der Zaag P. 2000. The Pungwe River Basin. UNESCO. 10p.
- World Bank. 2010. The Zambezi River Basin, A Multi-Sector Investment Opportunities Analysis. Volume 1. Summary Report. The World Bank, Water Resources Management, Africa Region. 52p.

SUBCOMPONENT 3: DRENAGEM URBANA

3.1 ÂMBITO DO TRABALHO

O âmbito do trabalho definido pelos Termos de Referência publicados nos documentos de concurso para este trabalho foram alvo de comentário pelo Consultor na Proposta Técnica (PT) deste trabalho e no Relatório Inicial, onde foi sugerida uma mudança de metodologia comparativamente a PT por parte do Consultor, tendo a sugestão sido aprovada pelo Cliente.

3.1.1 Termos de Referência originais

As áreas urbanas são particularmente propensas a enchentes. A elevada percentagem de superfícies impermeáveis em áreas urbanas impede a absorção das águas pluviais pelo solo, o que resulta na geração de elevados volumes de escoamento das mesmas. O excesso de águas pluviais tende a concentrar-se em zonas baixas ou em drenagens limitadas resultando em impactos adversos como a intransitabilidade de estradas, inundação de residências e bloqueio de esgotos. Alguns destes problemas vão intensificar-se se as mudanças climáticas resultarem em chuvas mais intensas, tal como foi projectado para Maputo na Fase I do projecto do INGC. O consultor deve realizar estudos por forma a identificar a localização destes problemas relativos a águas pluviais na cidade de Maputo, fazer recomendações de medidas estruturais e não estruturais para resolver ou aliviar os referidos problemas.

A seguir aos problemas, o excesso de águas pluviais também vai significar novas oportunidades para reduzir a dependência do abastecimento de água, em particular através da sua captação e reutilização. O consultor deverá investigar e propor tecnologias apropriadas para proceder a captação, processamento e distribuição da água das chuvas para reutilização em Maputo.

Pretende-se que o presente estudo inclua pelo menos os seguintes elementos:

- Análise de águas pluviais urbanas por forma a identificar potenciais pontos de concentração de águas em cenários de clima actuais e futuros;
- Estudos de campo para identificar independentemente os pontos de estrangulamento de águas pluviais e identificar potenciais utilizadores de águas pluviais parcialmente processadas;
- Recomendações para uma nova infra-estrutura para resolver problemas com a água das chuvas;
- Recomendações para implementar sistemas para a reutilização de águas pluviais.

As recomendações sobre os pontos de estrangulamento infra-estruturais e sobre a água das chuvas podem ser incluídas nos planos de desenvolvimento da cidade e ser utilizados para gerir o trânsito e reparação e reconstrução após grandes tempestades.¹

¹ Na Secção IIIC da Proposta Técnica o Consultor realçou que “No que se refere a fidelidade dos produtos: Os TdR para o Subtema 3 determinam que o Consultor “identifique o local de... onde se verificam problemas de escoamento de águas pluviais dentro da cidade de Maputo utilizando uma combinação de modelação informática e estudos de campo, sendo que serão feitas recomendações (infra-estruturais e não infra-estruturais) para aliviar o problema.” O Consultor gostaria de referir que a fidelidade dos produtos incluindo qualquer recomendação depende em grande medida da disponibilidade de dados no terreno. Assim, é possível que o conteúdo de informação dos produtos (ex.: mudança do escoamento de águas pluviais ao longo do tempo, efeito de medidas infra-estruturais e não infra-estruturais no escoamento de águas pluviais) seja mais qualitativa do que absoluta no fim da consultoria.

Sistemas para a reutilização de águas pluviais podem oferecer novas oportunidades de negócio para que investidores privados capturem e forneçam água apropriada para a reutilização. O Consultor vai trabalhar ao nível da proposta de projecto e orçamento em pelo menos três das recomendações de modo que quando se identificar o financiamento da implementação o Governo possa avançar directamente para a implementação (*procurement* ou outra solução apropriada).²

Pretende-se que o estudo de Maputo possa servir de modelo para adaptação para outros centros urbanos.

3.1.2 Metodologia e plano de trabalho revistos após a fase inicial

Com base no Contrato acordado (Termos de Referência e Proposta Técnica do Consultor), o resultado do seminário com intervenientes realizado em Maputo no dia 21 de Setembro de 2011, os contactos contínuos com as instituições relevantes de Maputo e a disponibilidade de dados e informação destes resultante, o Consultor propôs no Relatório Inicial uma adaptação da metodologia e plano de trabalho conforme a descrição apresentada nas secções seguintes. Após a aprovação do Cliente, o plano de trabalho adaptado foi consecutivamente cumprido pelo Consultor na principal fase do projecto.

3.1.2.1 Plano de trabalho adaptado conforme o aprovado pelo Cliente

Com base na disponibilidade de dados, como poderia ser julgado pelo fim da fase inicial, e com base nas consultas aos intervenientes durante a fase inicial, a abordagem de modelação foi adaptada da seguinte forma, em coordenação com o Cliente:

- Estando a disponibilidade de dados abaixo das expectativas dos consultores, a área de projecto foi reduzida e foram realizados estudos de campo detalhados por forma a recolher e confirmar conjuntos de dados antigos ou de fraca resolução.
- Uma vez que durante a fase inicial ficou claro que nem o Cliente nem os demais intervenientes identificados demonstraram possuir uma experiência considerável de modelação, o Consultor não foi bem sucedido em convidar um “especialista de modelação do Cliente” para o acompanhar durante o processo de modelação ao longo da Fase Três. Deste modo, propôs-se que o Consultor fornecesse literatura básica sobre o modelo e os pré-requisitos técnicos (hidrologia, hidráulica, requisitos de dados) ao Cliente e intervenientes durante a Fase Três do projecto, de tal modo que os futuros participantes do seminário e formação de entrega final pudessem adquirir conhecimento básico sobre os princípios e funcionalidades do modelo antes que a formação tivesse lugar a 21 e 22 de Março de 2012. Após alguns atrasos de caris

Em qualquer caso, o Consultor vai assegurar com o desenho do modelo que novos dados que possam levar a uma melhor fidelidade dos produtos e que não estejam disponíveis aquando da presente consultoria possam ser facilmente introduzidos no futuro.

² No que se refere a recomendações para a implementação de sistemas de reutilização de águas pluviais: Os TdR determinam que para estes sistemas “Pelo menos três recomendações devem ser apresentadas ao nível da proposta de projecto e orçamento, de modo que quando se garantir o financiamento o governo possa avançar para a implementação imediata (através dos respectivos concursos)”. Devido ao orçamento disponível, o Consultor assume que o “nível de proposta de projecto e orçamento” significa nível de estudo de viabilidade e que o produto não serão projectos prontos para implementação”.

administrativo no projecto, o seminário preparatório para o pessoal de modelação identificado teve início nos princípios de Março de 2011 com o fornecimento de material de leitura, tendo continuado com a primeira tarefa de formação simples acima mencionada ao nível de estudos de caso.

- Uma vez que no Relatório Inicial já se previa a escassez de dados, apenas foi possível elaborar muito por alto os detalhes técnicos das intervenções e medidas propostas, dado que não existe ou não se conseguiu obter das respectivas autoridades de Maputo informação fiável sobre os esquemas de planeamento e investimento urbanos referentes a drenagem urbana de Maputo, assim como não se poderia medir face ao tempo e orçamento limitados que estavam disponíveis (ex.: não existem mapas detalhados de esgotos subterrâneos e o sistema está bloqueado com resíduos sólidos, ou seja, nem sequer pode ser avaliado fisicamente na fase actual).
- Não se observou muito interesse nos sistemas de reutilização de águas pluviais. Ao invés de explicar mais as diversas oportunidades, concentrou-se nos SuDS como um bom meio de recarregar o lençol freático.

O plano de trabalho adaptado para as fases dois a quatro do projecto da Subcomponente 3 é apresentado na *Tabela 3-1*.

3.1.2.2 Implementação final do plano de trabalho adaptado

O plano de trabalho sugerido no Relatório Inicial foi implementado em conformidade durante a principal fase do projecto.

Tabela 3-1: Plano de trabalho adaptado para a principal fase do projecto (Fases 2-4) conforme foi definido durante a fase inicial (Fase 1)

Fase 2 – Fase de Recolha de Dados e Pesquisa de Campo			
No.	Actividade	Produtos/Metas	
2.1	Continuação da aquisição de dados hidrológicos, espaciais e de infra-estrutura de águas pluviais actuais e futuros (previstos)		concluído
2.2	Investigações detalhadas no terreno na área de captação de Maputo e pontos de estrangulamento de drenagem urbana seleccionados		concluído
2.3	Definição de limites de captação e sub-captação		concluído
Fase 3 – Fase de Modelação e Análise			
No.	Actividade	Produtos/Metas	
3.1	Instalação de um modelo geral de sistema de drenagem urbana (dados da Fase 1 e Fase 2)	Instalação de modelo geral de sistema de drenagem urbana	concluído
3.2	Primeiro modelo em funcionamento e validação com eventos anteriores nos pontos de estrangulamento		concluído
3.3	Melhoria do modelo nas sub-captações seleccionadas (dados de 2.2)		concluído
3.4	Documentação geral sobre pontos de estrangulamento da drenagem urbana (dados de 3.2)	Mediante solicitação por escrito do Cliente: Relatório Intercalar incluindo a visão geral dos pontos de estrangulamento da drenagem urbana, incluindo Plano de Instalação do modelo	concluído
3.5	Análise de sensibilidade relativamente a incerteza de dados introduzidos		concluído
3.6	Desenvolvimento de diferentes cenários para sub-captações seleccionadas (cenários climáticos actuais e futuros)		concluído

Fase 4 – Fase Conclusiva			
No.	Actividade	Produtos/Metas	
4.1	Elaboração de recomendações para medidas (não)estruturais para o alívio de enchentes de águas pluviais e para sistemas de reutilização de águas pluviais		concluído
4.2	Elaboração de recomendações para uma Gestão Integrada de Águas Urbanas em Maputo com base nas consultas com os intervenientes		concluído
4.3	Elaboração do Relatório Final Preliminar	Relatório Final Preliminar	concluído
4.4	Entrega do Modelo e formação prática com peritos em modelação nomeados pelo Cliente.	Entrega do Modelo	concluído
4.5	Seminário Final mediante solicitação do Cliente (opcional)	n/a	
4.6	<i>Elaboração do Relatório Final</i>	<i>Relatório Final</i>	

3.2 SUMÁRIO EXECUTIVO

A Subcomponente 3 trata da avaliação da situação da drenagem urbana em Maputo que já se mostrou problemática havendo vários bairros de Maputo que registam enchentes frequentes após chuvas de elevada intensidade. O principal objectivo do presente estudo era investigar a situação real da drenagem urbana, sob as condições actuais assim como num cenário de mudanças climáticas, por forma a identificar as áreas problemáticas e elaborar sugestões que visam melhorar a situação da drenagem urbana, incluindo a consideração de opções de reutilização de águas pluviais.

A metodologia para a implementação do projecto consistiu de uma fase inicial na qual se procedeu a recolha e análise de dados, visitas a locais e reuniões com intervenientes institucionais. Este trabalho inicial foi seguido pela elaboração e adaptação do plano de trabalho, com base nas constatações da fase inicial. A fase de implementação começou com a escolha de Maxaquene A e Mavalane A como uma área de captação adequada para as avaliações previstas. O trabalho de campo que se seguiu incluiu estudos topográficos de campo e entrevistas com residentes, seguidas pela modelagem hidráulica do escoamento de águas pluviais na área de captação escolhida com o software de código aberto SWMM5. O projecto foi concluído com uma formação básica para os intervenientes interessados e a apresentação das conclusões e recomendações no presente relatório final.

Durante a fase inicial constatou-se que a disponibilidade de dados para a modelação hidráulica prevista era limitada. Como resultado da escassez de dados e por forma a possibilitar a recolha de dados suficientes houve um acordo entre o consultor e o cliente (em consulta com diversos intervenientes) no sentido de que os esforços na fase principal iriam concentrar-se numa sub-captção escolhida da cidade, que compreende os bairros Maxaquene A e Mavalane A que registam enchentes frequentes e fortes. Foram realizadas levantamentos de campo detalhados destes bairros para a necessária recolha de dados topográficos e estruturais. Para além disso foram realizadas entrevistas com os residentes sobre a frequência das enchentes nos seus respectivos bairros.

Um modelo hidráulico detalhado foi instalado e calibrado para a sub-captção escolhida com recurso ao software SWMM5. O modelo foi utilizado para simular e avaliar os possíveis cenários futuros e possíveis medidas de mitigação de enchentes. Tendo por objectivo disseminar as constatações e desenvolver capacidades, realizou-se em Maputo uma formação básica, com a duração de dois dias, sobre o modelo SWMM5. Como resultado da formação os intervenientes

interessados estão capacitados para trabalhar com o modelo após a finalização do projecto. Isto foi ainda complementado pela elaboração de um curto manual do utilizador que contém informação sobre o uso do modelo SWMM5 no projecto e dá aos intervenientes a necessária informação de base para que o modelo possa ser utilizado noutras sub-captações em Maputo e noutras cidades de Moçambique.

Os resultados das avaliações do modelo foram utilizados para desenvolver recomendações específicas que podem ser utilizadas para melhorar a situação de inundações urbanas nos bairros avaliados, assim como, quando generalizado, para a zona urbana no geral. Os resultados dos cenários avaliados resumem-se da seguinte forma:

Resultados para o Cenário 2: “resíduos sólidos retirados de canaletas, mas os canais permanecem inalterados” indica que a mera remoção de resíduos sólidos das canaletas não teria um grande impacto. O principal problema, que leva as enchentes nas áreas à montante da captação em estudo, é sim o bloqueio parcialmente considerável dos canais de drenagem de águas pluviais por resíduos sólidos e vegetação, uma vez que este bloqueio leva a redução de secções, por um lado, e das velocidades dos fluxos, por outro. Pôde-se demonstrar que se apenas se limpar as canaletas e não os canais, então a enchente total não seria significativamente reduzida, sendo apenas reduzida a duração da enchente e, conseqüentemente, as quantidades de água que inundam a captação em estudo.

Resultados para o Cenário 3: “A remoção de vegetação e resíduos sólidos de canais e canaletas” mostra que, se for limpa a vegetação e resíduos sólidos do principal canal de drenagem, a capacidade de descarga das águas pluviais irá aumentar e a enchente irá concentrar-se mais na saída da sub-captação porque o escoamento atinge a parte à jusante mais rápido e com maiores amplitudes. Devido a presença do aqueduto rectangular (*box culvert*) na saída da sub-captação, ainda irão ocorrer enchentes, uma vez que a capacidade do canal é demasiado pequena para suportar o escoamento de todas as águas pluviais. Esta canaleta poderia ser certamente confirmada como sendo um entrave hidráulico dentro da sub-captação.

Resultados para o Cenário 4: “Abertura/alargamento das canaletas” mostra que dependendo do aumento estrutural da área transversal das canaletas pode-se seguramente evitar enchentes. Já existem bons resultados com um alargamento de 50% das canaletas, sendo que com 100% de alargamento não ocorre qualquer enchente dentro na área avaliada. Com base nos dois cenários modelados com um aumento da capacidade da canaleta, pode-se concluir que a limpeza de resíduos sólidos da canaleta já iria melhorar consideravelmente a situação. A medida do alargamento de secções transversais das canaletas individuais através de canaletas maiores ou de um maior número de canaletas teria que ser calculada com base numa abordagem holística que tenha em conta o sistema de drenagem geral das captações à montante até a sua saída de modo a melhorar o desempenho global do sistema.

Resultados para o Cenário 5: “O aumento da descarga no canal receptor de águas pluviais mostra que se registam enchentes novamente no ponto de saída da sub-captação devido ao elevado nível da água no canal receptor, o que por sua vez é causado pela acumulação da canaletas à jusante no canal receptor, que neste momento é o ponto de estrangulamento hidráulico. Esta situação mostra que é extremamente importante planificar intervenções de uma maneira holística, considerando a rede de drenagem no geral.

Resultados para o Cenário 6: “Cenário climático com uma maior intensidade pluviométrica” indica que as enchentes aumentam linearmente com o aumento da intensidade da chuva. Este resultado pode parecer relativamente evidente uma vez que o principal factor por detrás das inundações urbanas é a fraquíssima capacidade de infiltração das superfícies seladas, o que leva a um escoamento iminente durante uma tempestade.

Resultados para o Cenário 7: “Medidas de SuDS implementadas em Maputo” mostram os diferentes aspectos e efeitos das diferentes medidas potenciais.

- Considerou-se que a opção por piscinas de armazenamento iria exigir muito espaço, o que seria difícil de implementar numa zona tão densamente habitada como o bairro do Maxaquene A, pois seria necessário um reassentamento de residentes em grande escala.
- Trincheiras de infiltração poderiam ter um potencial efeito nos níveis de água subterrânea. Embora a reposição de águas subterrâneas seja geralmente considerada um efeito positivo, ao nível local deve-se ter em conta os possíveis efeitos negativos. Registos indicam que os níveis de águas subterrâneas já são baixos na zona de estudo, de tal modo que a capacidade de infiltração e condutividade hidráulica do subsolo terão que ser quantificadas, assim como terão que ser investigadas as possíveis consequências da subida dos níveis de água subterrânea (i.e., quando os níveis de água subterrânea atingem os fundos das latrinas de fossa seca e fossas sépticas existentes na zona) sobre as condições higiénicas e sobre a integridade estrutural dos edifícios vizinhos. As necessidades em termos de espaço podem, no geral, ser melhor avaliadas uma vez que as estruturas lineares podem seguir o trajecto de estradas. Entretanto, serão sempre necessárias intervenções ao nível da paisagem. Estes aspectos devem ser decididos com base em requisitos técnicos e políticos (efeito a obter vs. dimensão).
- Os Pavimentos Permeáveis apenas têm efeito se forem implementados em muito grande escala, ou seja, uma elevada percentagem nas áreas pavimentadas. Apenas uma pequena parte das águas pluviais captadas durante uma tempestade pode infiltrar considerando as condições do subsolo e outras superfícies impermeabilizadas. Portanto, embora não seja sustentável como uma solução isolada, a utilização de pavimentos permeáveis pode ser um valioso complemento a outras medidas.
- O controlo da entrada e da fonte é interessante do ponto de vista de gestão de recursos hídricos, mas o seu efeito quantitativo na drenagem de águas pluviais é insignificante se considerarmos a fortíssima intensidade das chuvas comuns em Maputo.

A conclusão geral da avaliação foi que as deficiências ao nível do desenho e manutenção do sistema de drenagem têm o maior efeito negativo na situação da drenagem urbana e que os eventos atmosféricos mais extremos previstos em resultado das mudanças climáticas irão agravar ainda mais as condições. As deficiências em pontos de estrangulamento estruturais assim como a manutenção são os principais problemas a resolver por forma a melhorar a situação, na qual a melhoria do estrangulamento deve ter em conta as condições da rede de drenagem à jusante assim como os impactos das mudanças climáticas. A recarga de lençóis freáticos através da infiltração foi o único mecanismo aceite e sensato encontrado para a reutilização das águas pluviais.

Mais detalhadamente, as medidas recomendadas incluem a elaboração de planos de manutenção integrados para o actual sistema de drenagem urbana, a revisão dos cálculos e

desenho da actual infra-estrutura de drenagem urbana e medidas estruturais para implementação imediata conforme o resumo apresentado na Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Medidas para eliminar as enchentes urbanas – Estudo de Caso de Maputo

1 Melhoria na manutenção do actual sistema de drenagem urbana (custo est. \$640,000):

- Elaboração de um inventário digital da infra-estrutura de drenagem urbana
- Campanha de limpeza de toda a infra-estrutura de drenagem e saneamento em toda a cidade;
- Campanha de informação em toda a cidade para consciencializar sobre a gestão da drenagem urbana e de resíduos sólidos e para que se evite bloquear os drenos;
- Elaboração e implementação de um plano de Operação e Manutenção (O&M) detalhado para a infra-estrutura de drenagem e saneamento urbana.

2. Revisão do cálculo e desenho do sistema de drenagem urbana (custo est. \$520,000 – \$820,000):

- Novo cálculo hidrológico de tempestades-tipo (*tempestades-tipo*), incorporando impactos das mudanças climáticas, de preferência baseado em informação recolhida dos recém-instalados dispositivos hidrométricos de medição de precipitação;
- Cálculo monodimensional e/ou bidimensional estável e não estável do fluxo de canais abertos;
- Cálculos hidráulicos em estado estável e não estável dos esgotos canalizados de águas fluviais e residuais;
- Cálculo detalhado da rede em toda a cidade de toda a rede de esgotos e drenagem (ex.: com o modelo SWMM5)

3. Medidas Estruturais (custo est. \$50,000-\$500,000):

- Extensão / reconstrução de canaletas, com base nos resultados de um modelo hidráulico da cidade;
- Conceito, desenho e implementação de Medidas de Baixo Impacto;
- Finalização da bacia de retenção de águas pluviais na parte norte da Sommerschild

4. Mais recomendações:

- Plano Director integrado para o uso e aproveitamento de terra e assentamento para toda a cidade de Maputo (incluindo Matola e subúrbios), com uma reformulação de assentamentos informais existentes de maneira mais estruturada por forma a permitir a instalação de infra-estrutura básica;
- Concentração da posse e responsabilidade de O&M da infra-estrutura de drenagem urbana numa única instituição;

A escolha sobre que recomendação será implementada no future vai depender da disponibilidade orçamental e dos acordos finais entre os intervenientes ao nível político. Recomenda-se que as opções, assim como os benefícios e implicações relacionados, sejam discutidos com os intervenientes identificados antes da sua implementação e também considerando as iniciativas mais alargadas que estão a ser levadas a cabo no sector de drenagem urbana. Os intervenientes, de entre os quais o INGC, Ara-Sul, Direcção Nacional de Águas (DNA), UNHabitat, Universidade Eduardo Mondlane, AIAS e a Direcção Municipal de Planeamento Urbano e Ambiente têm estado envolvidos no ao longo do projecto e estão bem informados. Como um aspecto adicional, quaisquer alterações ao sistema devem ser feitas com uma consideração holística do sistema de drenagem no geral de modo a resolver e não transferir para outro ponto os problemas referentes as inundações (impactos à jusante).

Com base nos resultados descritos, a maior prioridade para acção imediata que levaria a um alívio instantâneo das enchentes é a limpeza dos drenos e canaletas assim como a

implementação de um plano de manutenção dos mesmos. Esta intervenção poderia ser seguida de melhorias estruturais dos principais pontos de estrangulamento identificados. Para quaisquer novas intervenções seria necessário uma planificação mais detalhada relativamente aos SuDS e uma maior melhoria da rede de drenagem. Estas conclusões serão provavelmente válidas também para outras sub-captações em Maputo e noutras cidades. Em locais onde canais e canaletas estejam obstruídos por resíduos sólidos e a limpeza dos mesmos constituísse um primeiro passo. Para intervenções estruturais, é necessário em primeiro lugar um inventário detalhado das estruturas existentes, seguido de uma avaliação hidráulica.

Deve-se ainda considerar, que para que se tenha uma abordagem abrangente para a melhoria da capacidade do sistema de drenagem para que este possa absorver enchentes resultantes de eventos cada vez mais extremos, uma abordagem de sub-captação por sub-captação é demasiadamente fragmentada e pode levar a resultados indesejados e maiores custos. Uma abordagem mais abrangente tal como se descreve na Quadro 3.1 é mais adequada para a obtenção de resultados em toda a cidade, caso sejam disponibilizados fundos suficientes. Assim, uma principal recomendação seria não replicar a abordagem do presente estudo noutras sub-captações de Maputo, mas sim expandi-la para uma avaliação abrangendo toda a cidade. A abordagem utilizada na actual avaliação foi concebida por forma a facilitar uma expansão através da abordagem de modelação escolhida.

3.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA (MAPUTO E SUB-CAPTAÇÃO SELECCIONADA)

3.3.1 Descrição geral

A Cidade de Maputo está cercada pelo mar a Este e Sul. A Oeste o “pequeno rio” Infulene marca a fronteira com a Cidade da Matola. A área da Cidade de Maputo está geralmente dividida por uma colina em forma de serra de Norte a Sul numa zona costeira de escoamento de águas pluviais e numa zona interior de escoamento de águas pluviais. A zona costeira Este começa bastante plana junto ao mar e eleva-se acentuadamente para a colina. Existem relatos de que as águas pluviais que correm em direcção a zona plana criam enchentes em vários pontos que são principalmente utilizados para a agricultura. A zona costeira Sul, “cidade de cimento” é drenada por um antigo sistema de esgotos de águas pluviais, do qual se desconhece a eficiência (e funcionalidade exacta). A *Figura 3.1* mostra a área alvo de estudo de caso (cor-de-laranja) dentro dos limites de Maputo (linha vermelha).



Figura 3-1: Maputo e a posição da sub-captação seleccionada dentro de Maputo

3.3.2 Selecção da sub-captação

A área interior ocidental pode ser dividida em diferentes bacias que descarregam águas pluviais por um sistema de canal aberto para o Rio Infulene. A bacia mais a Sul com o principal canal na Av. Joaquim Chissano, e em maior detalhe a área contribuinte para o canal ao longo da Av. Acordos de Lusaka, foi seleccionada como a área do estudo de caso por várias razões. Um primeiro estudo de caso para a área foi apresentada aos participantes de um seminário de intervenientes durante a missão inicial em Setembro de 2012, na qual o potencial e as limitações da abordagem de modelação escolhida foram ilustrados.

Para este primeiro estudo de caso superficial foi escolhida uma sub-captação claramente identificável nos bairros Maxaquene A e Mavalane A essencialmente por razões técnicas. Todavia, as primeiras entrevistas, que foram realizadas com moradores do bairro durante a missão inicial, resultaram em estimativas de que as enchentes ocorrem 2 vezes por ano na parte Norte da área de estudo e quase 5 vezes por ano na parte Sula o longo do canal primário (Ertl, 2011). Em seguida a sub-captação foi alvo de mais investigações e com base nos dados disponíveis e nas constatações das visitas ao local em Agosto e Setembro de 2011, o Consultor sugeriu no Relatório Inicial que se intensificasse os esforços de modelação com o modelo SWMM para esta sub-captação (consultar o Relatório Inicial para obter uma descrição detalhada).

Houve várias razões que levaram a sugestão desta sub-captação para uma modelação detalhada, apresentadas resumidamente à seguir:

1. Para esta sub-captação já havia dados disponíveis devido a uma tese de mestrado realizada para a Universidade de Lund (PALALANE J. 2010: Comparative analysis of sub-surface drainage solutions in Maxaquene "A". Master Thesis. Lund University. Lund, Sweden). Nesta tese não só se descreve as enchentes na sub-captação, como também os problemas com o aquífero subterrâneo por baixo de Maxaquene. Deste modo, esta sub-captação era bem adequada a uma pesquisa de campo conjunta de modo a recolher dados sobre todos os temas relevantes para o SC3.
2. Durante a visita de campo realizada durante a fase inicial do projecto, a população local de Maxaquene confirmou que ocorrem enchentes frequentes no seu bairro, sendo que enchentes consideráveis têm lugar quase regularmente duas vezes por ano.
3. Embora o modelo digital de elevação disponível tenha desse apenas uma visão geral da topografia de Maputo, pôde-se identificar uma sub-captação com limites relativamente claros nos bairros Maxaquene A e Mavalane A. Para muitos outros bairros de Maputo isto não foi possível.
4. O tamanho da sub-captação escolhida é adequado para a tarefa em causa. Esta sub-captação é suficientemente grande para ser subdividida em várias sub-captações secundárias, mas não é demasiado grande para se levar a cabo um estudo de campo significativo de toda a área de modo a saber mais sobre as propriedades da sub-captação (tais como os coeficientes de escoamento, percentagem de superfícies pavimentadas, existência de drenos e esgotos abertos, possível bloqueio de drenos e esgotos abertos, inclinação de sub-captações secundárias, etc.).
5. A estrutura habitacional do bairro é típica para muitos outros bairros de Maputo, representando, deste modo, um bom exemplo primário para a aplicação do modelo a outros bairros.
6. Até o momento, no que se refere a sistemas de esgotos, a sub-captação ou não possui nenhum ou apenas possui um marginal. Neste momento estão em curso obras de construção de esgotos e drenos abertos na sub-captação. Assim, foi possível incluir no modelo alguns cenários de antes/depois, mostrando a eficácia das medidas que estão a ser implementadas.
7. Foram identificados três grandes pontos de estrangulamento na sub-captação e na saída da sub-captação no cruzamento da Av. Joaquim Chissano / Av. Acordos de Lusaka respectivamente. O Consultor considera crucial a inclusão dessas canaletas no modelo de modo a poder explicar a modelação desses pontos de estrangulamento com condições possivelmente passageiras durante o curso de formação.

A área de estudo escolhida (*Figura 3.2*) localiza-se no centro de Maputo, em torno da Praça dos Heróis. A área inclui os bairros de Maxaquene A e Mavalane A e em seu redor tem os bairros de Maxaquene C e D a Este, Mavalane B a Sudeste, o aeroporto internacional de Maputo a Oeste e a Urbanização a Sul.

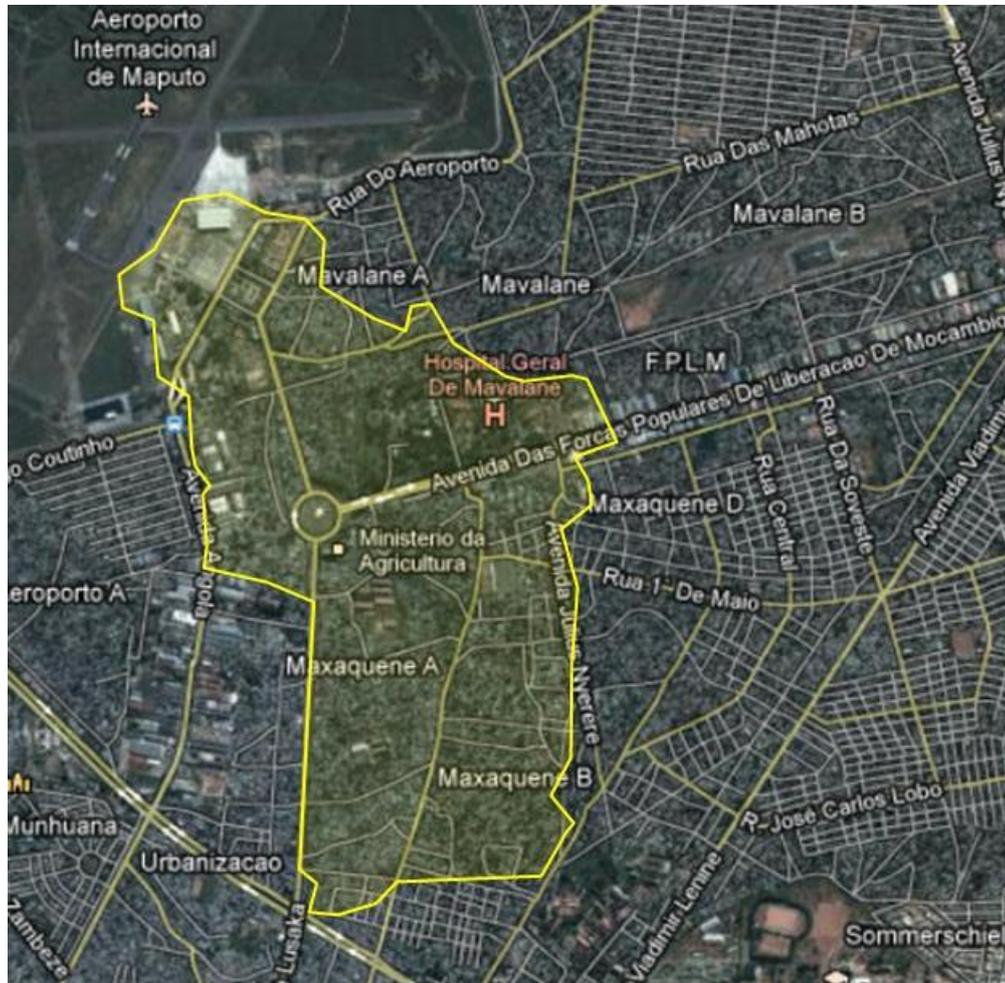


Figura 3-2: Área de estudo nos bairros Maxaquene A e Mavalane A

As características de Maxaquene A e Mavalane A foram extraídas de Palalane (2010). A sub-captação pode ser caracterizada como suburbana com uma elevada densidade populacional, com infra-estrutura parcialmente não planejada e informal, sem sistema de esgotos para águas residuais e um sistema de drenagem de águas pluviais incompleto. A área de estudo possui um canal aberto de drenagem de águas pluviais (paralelo a to Av. Acordos de Lusaka, *Figura 3.3*) que recolhe todas as águas pluviais do sistema secundário de águas pluviais do bairro. O canal de drenagem na Av. Acordos de Lusaka tem uma inclinação de 0.4 %.

No cruzamento das Av. Joaquim Chissano e Av. Acordos de Lusaka a captação de estudo escoava todas as águas pluviais através de uma canaleta para o canal primário (*Figura 3.3*). Visto que a saída de outra sub-captação virada para Sul também se localiza neste cruzamento, a confluência das águas pluviais de três direcções e vários bairros neste único ponto pode ser responsável por um considerável refluxo para os três canais contribuintes, causando assim enchentes regulares em Maputo. Tal como foi mencionado acima, não se sabe ao certo por que estas canaletas foram construídas com uma capacidade hidráulica muito inferior a capacidade do respectivo

canal à montante. Tentou-se clarificar esta questão com o Departamento Municipal de Águas e Saneamento de Maputo durante a principal fase de projecto, mas a respectiva informação sobre o desenho não estava disponível no departamento.

De momento, presume-se que as canaletas subdimensionadas, associadas as fracas condições gerais de alguns canais de drenagem de águas pluviais que estão parcialmente cobertos por vegetação e parcialmente bloqueados devido a depósitos de resíduos sólidos e sedimentos, são responsáveis pelas frequentes enchentes nestes bairros. Esta hipótese é corroborada pelos resultados da modelação hidráulica com o modelo de drenagem urbana SWMM5. Nos Cenários 1-4 pode-se ver que apenas uma limpeza de todas as canaletas e canais de drenagem de águas pluviais irá levar a um considerável aumento de capacidade hidráulica do actual sistema de drenagem de águas pluviais (ver Capítulo 3.5.5).

A modelação mostrou igualmente que a limpeza, que seria muito eficaz na redução do risco de inundação na parte à montante da captação de estudo, iria levar a uma translocação do problema para a área à jusante da captação visto que o sistema subdimensionado não pode descarregar os fluxos com rapidez necessária. O ponto de estrangulamento é uma canaleta subdimensionada (ver *Figura 3.3*, marcado com um círculo amarelo) na saída da captação de Maxaquene A / Mavalane A na qual se verificaria o atraso.



Figura 3-3: Confluência dos 3 principais canais abertos que cruzam a Av. Joaquim Chissano / Av. Acordos de Lusaka (círculo amarelo: saída da sub-captação modelada; círculos vermelhos: canaletas adjacentes com influência na saída modelada)

Situação das Águas Subterrâneas em Maputo

Embora haja indicações de que a qualidade das águas subterrâneas é boa em algumas zonas de Maputo, a poluição das mesmas em Maputo ainda é considerável numa perspectiva geral. Maputo possui um aquífero exposto devido ao seu carácter freático. Algumas partes de Maputo revelam elevadas concentrações de cloreto devido a sua geologia histórica (Vicente et al., 2006; citado para Dimande et al., 2001). De acordo com outro estudo realizado no distrito de Moamba em Maputo (próximo do Rio Sabié) encontram-se elevadas concentrações de sódio e cloreto, elevada salinidade e também fluor, com valores que ultrapassam os limites recomendados para o consumo humano para Moçambique (DNA, 2011).

As fontes de poluição de águas subterrâneas são apresentadas a seguir (Vicente et al. 2006):

- Actividades industriais
- Latrinas de fossa em assentamentos informais devido a ausência de bons sistemas de saneamento
- Lixiviado de lixeira que recebe todo o tipo de resíduos (comerciais, hospitalares e industriais)

3.4 METODOLOGIA

3.4.1 Metodologia do trabalho inicial

3.4.1.1 Trabalho preparatório (recolha de dados e informação, decisão sobre a sub-captação)

Devido ao facto de o trabalho em curso fazer parte da Fase 2 do projecto de grande escala “Respondendo às Mudanças Climáticas em Moçambique”, foi disponibilizada ao Consultor, desde o início do seu trabalho, uma grande base de dados de ficheiros e documentos, fornecida pelo Cliente na base de dados online “Dropbox”.

Durante a fase inicial a base de dados Dropbox foi cuidadosamente pesquisada em busca dos respectivos ficheiros relevantes. Depois disso foi feita uma extensa busca na internet por todos os temas relevantes antes da missão inicial do Consultor a Maputo em Agosto de 2011. A própria missão inicial foi apoiada com muito profissionalismo pelo Sr. António Queface que servia de agente de ligação do INGC para a equipa de consultoria da Subcomponente 3.

Os passos dados em preparação para o trabalho na Subcomponente 3 podem ser brevemente resumidos da seguinte maneira:

Trabalho documental:

- Pesquisa no Dropbox: pesquisa de todos os directórios e subdirectórios em busca de dados, relatórios, artigos, ficheiros GIS, fotografias, mapas e modelos de elevação digitais relevantes,
- Busca detalhada no Dropbox por todos os ficheiros contendo os termos “água”, “saneamento”, “tempestade”, “Maputo”, “enchente/inundação”, “ponto de estrangulamento (*bottleneck*)”, “DEM”, “elevação”, “esgoto”, “dreno”.
- Busca na internet por informação relevante referente a
 - Águas pluviais em Maputo
 - Colheita de água da chuva em Maputo e outras cidades africanas
 - Gestão Integrada de Águas Urbanas em cidades africanas
 - Reutilização de águas pluviais em Maputo e noutras cidades africanas

3.4.2 Consultas aos intervenientes

Uma vez que a Subcomponente 3 do presente projecto vai dar resultados preparatórios para a implementação das obras recomendadas, os intervenientes relevantes foram identificados essencialmente do lado institucional. Foram consultados os seguintes intervenientes institucionais durante toda a fase de implementação do projecto de modo a saber do seu nível de conhecimento das razões e consequências dos problemas de drenagem urbana, as suas prioridades, capacidades e ideias sobre como os respectivos problemas podem ser resolvidos:

- Ara-Sul: Sr. Belarmino Chivambo, Sra. Lizete Dias, Sr. Agostinho Vilanculos
- DNA – Direcção Nacional de Águas: Sra. Rute Nhamuche, Sr. Raul Mutivuiu, Sr. Daudo Carimo
- FIPAG: Sra. Judite Renoldo Manhique
- UNHabitat: Sr. Paulo Conceição Júnior, Sr. Silva Magaia
- Universidade Eduardo Mondlane: Sr. José Rafael, Sr. António Queface
- AIAS: Sr. Valdemiro Matavela
- Direcção Municipal de Planeamento Urbano e Ambiente: Sr. Hecrálito Mucavele, Sra. Theresa Chissequere
- Departamento Municipal de Drenagem e Saneamento Urbano: Sra. Circe Chaly

Os resultados destas consultas aos intervenientes são resumidos da seguinte forma:

1. Foi solicitado a todos os intervenientes acima listados que fornecessem dados relevantes e outra informação respectiva. Embora todos tenham dado uma resposta positiva, os resultados do pedido mostraram que estão disponíveis pouquíssimos dados reais (i.e. desenhos ou folhas de cálculo) sobre a estrutura e estado exactos do actual sistema de drenagem, a sua dimensão total, as obras previstas de extensão e reabilitação, ou a implementação das recomendações apresentadas pela DNA (2005).
2. Os “Planos Estratégicos de Saneamento para 7 Municípios, nomeadamente Maputo, Matola, Beira, Dondo, Nampula, Pemba e Quelimane” publicado pela DNA (2005) foi reconhecido por todos os intervenientes como sendo um documento crucial para a melhoria da drenagem de águas pluviais e da situação do saneamento em Maputo. Nenhum dos intervenientes possuía uma versão final deste documento apesar de o projecto estar concluído, mas o Consultor conseguiu obter uma versão preliminar. Observou-se que nenhuma das contrapartes do Consultor em todas as consultas dos intervenientes estava em condições de fornecer informação sobre o grau de implementação das recomendações feitas nos Planos Estratégicos da DNA de 2005.
3. As prioridades apresentadas pelos diferentes intervenientes são diferentes, de acordo com o objectivo estratégico da respectiva instituição:
 - a) A prioridade da Ara-Sul no contexto do projecto era a protecção de águas subterrâneas. As sugestões do Consultor referentes a recarga de águas subterrâneas via medidas de SuDS foram bem recebidas e apoiadas pelos representantes da Ara-Sul no seminário de intervenientes realizado em Maputo em Setembro de 2011. A Ara-Sul desempenhou um papel activo durante o projecto, forneceu dados e documentos solicitados e participou no seminário de intervenientes assim como na formação básica em SWMM.
 - b) A DNA também desempenhou um papel activo durante o projecto, forneceu dados e documentos solicitados e participou no seminário de intervenientes assim como na formação básica em SWMM. A prioridade da DNA no contexto do tema do projecto era dupla: Durante o seminário de intervenientes a DNA mostrou interesse em questões ligadas a águas subterrâneas. As sugestões do consultor referentes a recarga de águas subterrâneas através de medidas de SuDS foram bem recebidas e apoiadas pelos

representantes da DNA no seminário de intervenientes. Por outro lado, a DNA não mostrou interesse directo na agenda de drenagem urbana do projecto. Os representantes da DNA estão menos informados sobre o real estado da infra-estrutura de drenagem urbana e sobre as actividades em curso de extensão e reabilitação desta infra-estrutura.

- c) O principal interesse do FIPAG, tal como ficou patente no decurso do projecto é aumentar a sua cobertura do abastecimento de água canalizada em Maputo. O FIPAG não demonstrou qualquer intenção de utilizar as águas subterrâneas por baixo de Maputo, pretendendo ao invés disso fornecer a uma maior percentagem da população de Maputo água proveniente de reservatórios de água de superfície localizados mais para o interior. Deste modo, o FIPAG não mostrou um considerável interesse na situação das águas subterrâneas em Maputo.
- d) A UNHABITAT foi bastante prestativa e interessada, tendo também participado no seminário de intervenientes. A UNHABITAT estava preocupada com o facto de a escolha da sub-captação e as medidas de drenagem urbana sugeridas poderem ser influenciadas politicamente. Após clarificar que a escolha havia sido baseada exclusivamente em critérios técnicos, a escolha dos bairros Mafalala A e Mavalane A foi saudada e confirmada como sendo plausível. As prioridades da UNHABITAT relativamente ao projecto eram essencialmente sensibilizar o Consultor sobre os projectos de planeamento urbano em curso em Maputo, sensibilizar sobre os problemas do mercado local de habitação e os problemas resultantes de assentamentos informais, questões ligadas a corrupção e falta de capacidade das instituições municipais.
- e) Um representante da AIAS pretendia participar na formação básica de SWMM, mas ficou impossibilitado de participar. A prioridade geral da AIAS centra-se na implementação de medidas estruturais na área de drenagem e saneamento urbanos. Contudo, a AIAS não é a instituição que lida com a conceitualização e planificação das medidas, não lidando igualmente com a manutenção da actual infra-estrutura de drenagem e saneamento. As prioridades da AIAS no contexto do projecto centravam-se essencialmente na perspectiva teórica, isto é, na troca de experiências com o Consultor. Durante as reuniões constatou-se que a AIAS ainda não estava totalmente equipada e muitos recursos ainda tinham que ser transferidos da DNA. Tal como a DNA, os representantes estavam menos informados sobre o estado real da infra-estrutura de drenagem urbana e sobre as actividades de extensão e reabilitação ora em curso.
- f) A Direcção Municipal de Planeamento Urbano e Ambiente facultou os ficheiros disponíveis de GIS e CAD de Maputo e teve um papel activo durante o projecto, tendo participado no seminário de intervenientes e na formação básica de SWMM.
- g) Embora sendo interveniente chave na área de trabalho e conhecimento abordada no projecto, não foi possível consultar o Departamento Municipal de Drenagem e Saneamento Urbano. Apesar de várias tentativas por parte do Consultor, não se conseguiu agenda nenhum encontro com representantes deste departamento. Assim, não se conhecem as suas prioridades no contexto do projecto.

Intervenientes não institucionais foram contactados principalmente no decurso do estudo de campo em Maxaquene A e Mavalane A, uma vez que não estava prevista no âmbito do projecto uma campanha de contactos com intervenientes alargada a toda a cidade. No decurso do estudo realizaram-se entrevistas nas quais os moradores da sub-captação escolhida foram consultados por forma a saber qual era a sua percepção do problema, as suas prioridades e

ideias sobre como resolver o problema de drenagem urbana e os outros problemas específicos relacionados com a drenagem urbana e gestão de recursos hídricos no geral. Os resultados deste estudo de campo estão são sintetizados no Capítulo 3.5.3, sendo os modelos de entrevista e resultados do estudo apresentados nos Anexos do presente relatório.

No geral, observou-se que a população local de Maxaquene A e Mavalane A acredita que a melhor solução para o problema de drenagem urbana seria a construção de mais canais de drenagem urbana; uma melhor manutenção da infra-estrutura existente e uma menor deposição de resíduos sólidos nas ruas. Os canais de drenagem urbana existentes não são vistos como um meio eficaz de resolução da situação de drenagem.

3.4.3 Delineação da área de captação

Para delinear a área de captação, foram utilizadas duas alternativas. Uma alternativa manual (via Google Earth) e outra automática (utilizando o ArcGIS).

3.4.3.1 Delineação da área de captação com recurso ao Google Earth

À partida, para melhor ver a situação, os limites da captação foram desenhados manualmente com recurso ao Google Earth. O Google Earth é um programa gratuito de visualização de imagens de satélite, mapas, terreno, edifícios em 3D, oceanos e galáxias, com base num sistema de informação geográfica.

Para delinear a captação, as curvas de nível dos ficheiros GIS disponibilizadas na base de dados Dropbox (desconhece-se a fonte original) foram convertidas para o formato 'kml', que é necessário para abrir os dados no Google Earth. Este ficheiro ilustra os percursos do fluxo de escoamento, canais de drenagem e sistema de esgotos existentes e propostos. Após acrescentar as curvas de nível ao Google Earth, foram feitos alguns testes por forma a obter o melhor resultado da área de estudo. A captação é delineada utilizando as elevações mais altas em torno da própria captação.

TatukGIS Viewer - www.TatukGIS.com

O programa livre *TatukGIS Viewer* é uma versão simplificada do *TatukGIS Editor* (ver abaixo), sem as capacidades de criação de dados, *scripting*/personalização e visualização 3D. Tanto o *Editor* como o *Viewer* livre abrem a maioria dos projectos *ArcView*, *ArcExplorer*, e *MapInfo*, assim como projectos de mapas exportados do *ArcGIS/ArcMap* (v.9x) utilizando o *plug-in* livre *Arc2TatukGIS*.

O *TatukGIS Editor* é uma aplicação e plataforma de desenvolvimento GIS para fins gerais com ponderosas ferramentas de *scripting* incorporadas *Pascal/Basic* que expõem um extenso objecto API. As características incluem um abrangente *visual layer property*, legenda, e controlos de escala, 3.000 sistemas de coordenadas pré-definidos, projecção rápida de camadas de mapas vectoriais/raster, junção de base de dados e apoio nativo para a maioria dos formatos de dados de mapas baseados em GIS/CAD vector, raster e SQL, incluindo formatos avançados de bases de dados espaciais de terceiros: Microsoft Spatial, Oracle Spatial & Oracle GeoRaster, ArcSDE & ArcSDE Raster, PostGIS, MapInfo SpatialWare, SQLite Spatial..., e muito mais. À título de exemplo, a recente actualização da versão 3 acrescentou capacidades de visualização em 3D incluindo apresentação em DTM (modelo de terreno digital), representação vectorial 3D,

draping automático de imagem e camadas vectoriais 2D sobre um a DTM, simulação de enchentes, controlo de luz/sombra e controlo de câmara/cena. A *Figura 3.4* apresenta um exemplo para a visualização da topografia, mostrando a captação alvo de estudo e os resultados da análise hidrológica, enquanto a *Figura 3.5* mostra a visualização do referido *shapefile* de curvas de nível com TatumGIS.

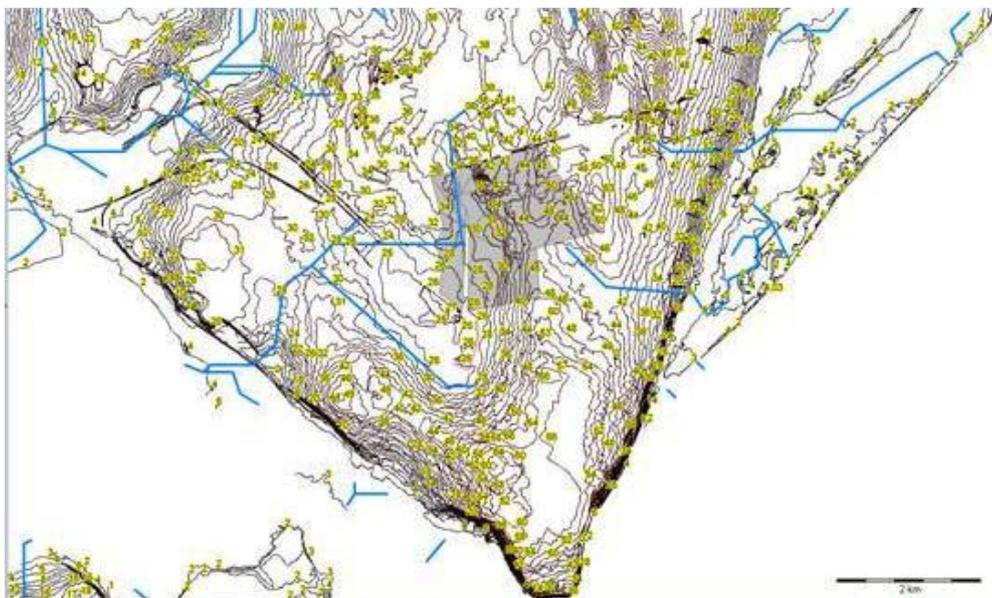


Figura 3-4: Visualização de topografia com o programa TatumGIS

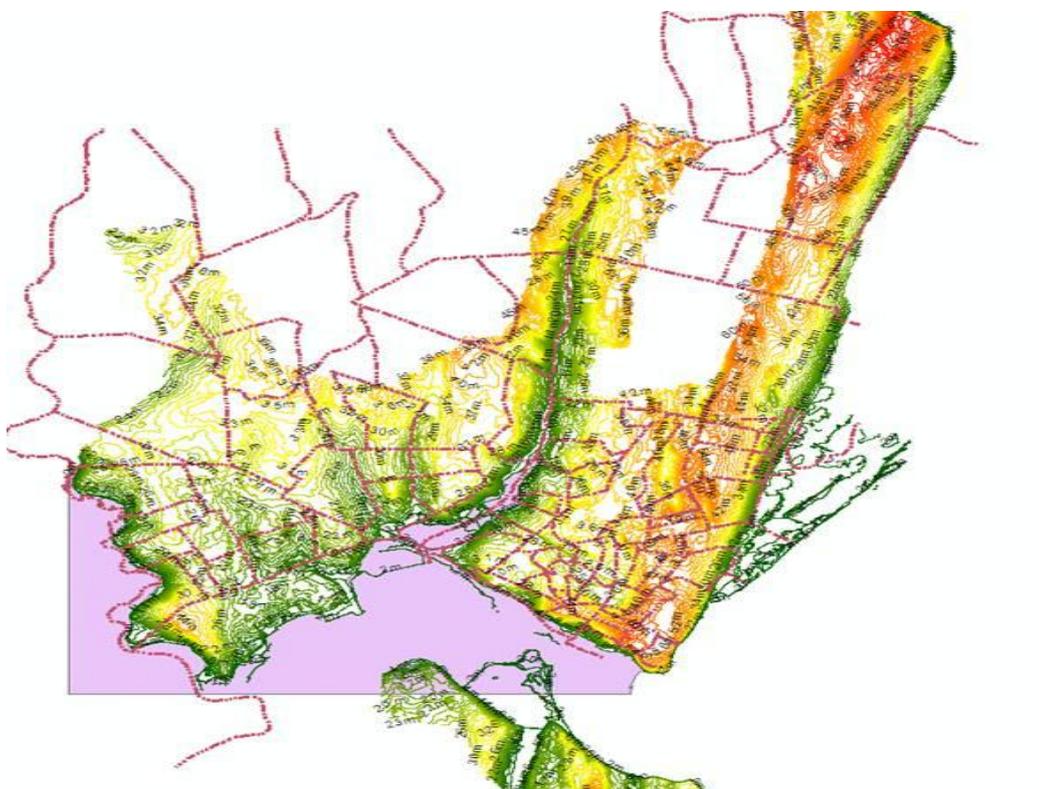


Figura 3-5: Visualização de curvas de nível com o programa TatumGIS

3.4.3.2 Delineação da Bacia Hidrográfica para a Área de Estudo com ArcGIS Desktop 10

O ArcGIS é um grupo programas de sistemas de informação geográfica (GIS) desenvolvido e distribuído pelo Instituto de Investigação em Sistemas Ambientais (*Environmental Systems Research Institute* (ESRI)). Basicamente, um GIS é uma ferramenta para mapeamento digital e análise espacial. O uso de um GIS oferece, de entre outros, a possibilidade de capturar, armazenar, investigar, analisar, apresentar e produzir qualquer tipo de informação geográfica. Para o presente estudo, de modo a delinear com precisão, foi utilizada a mais recente versão do “ArcGIS Desktop 10” ao nível de licenciamento do ArcInfo.

Os dados geográficos podem ser representados digitalmente em dois métodos: estrutura de dados *raster* e vectorial. Neste projecto utilizou-se uma estrutura de dados *raster*, representando a geografia da sub-captação por meio de quadrículas. Numa representação *raster*, cada local é referenciado por uma quadrícula numa fileira. Cada quadrícula expressa um atributo ou propriedade geográficos atribuindo um valor a estes, assim cada quadrícula possui um único valor. Este método é destacado como sendo a melhor maneira de representação de características de elevação (Longley et al., 2005).

Antes da delineação de uma bacia hidrográfica com ArcGIS, devem-se concluir alguns processos com o *spatial analyst toolbox*, sendo o primeiro passo a criação de um modelo de elevação digital (DEM).

Um modelo de elevação digital pode ser criado no ArcGIS Desktop 10 com uma ferramenta de interpolação e diferentes técnicas de interpolação. Neste estudo, foi criado um DEM utilizando a técnica de interpolação “*topo to raster*”. Para a criação de qualquer DEM devem ser facultados alguns parâmetros de entrada. Existem seis tipos de possíveis dados de entrada: elevação do ponto, curva de nível, fluxo, depressão na rede de drenagem (*sink*), limites e lago. Para a definição de um modelo para a sub-captação escolhida dois destes tipos foram utilizados; curvas de nível como *elevação do ponto* e polígono como o *limite* de Maputo. Os canais de drenagem abertos foram integrados num passo seguinte.

Para o presente projecto, foi tentada a criação do DEM para diferentes tamanhos de quadrícula (50, 30, 10 e 5m). A melhor resolução foi conseguida com a quadrícula de 5m. Assim, foi gerado um DEM com tamanho de quadrícula de 5m tendo em conta que uma maior resolução especial iria resultar num maior tempo de cálculo do modelo.

Os canais de drenagem abertos não foram considerados na geração do DEM. Num segundo passo, foram utilizadas ferramentas *Reclass* e *Raster Math* para integrar os canais no DEM. No organigrama abaixo (*Figura 3.6*) apresentam-se todos os passos atinentes a criação de um DEM com a integração de canais de drenagem abertos.

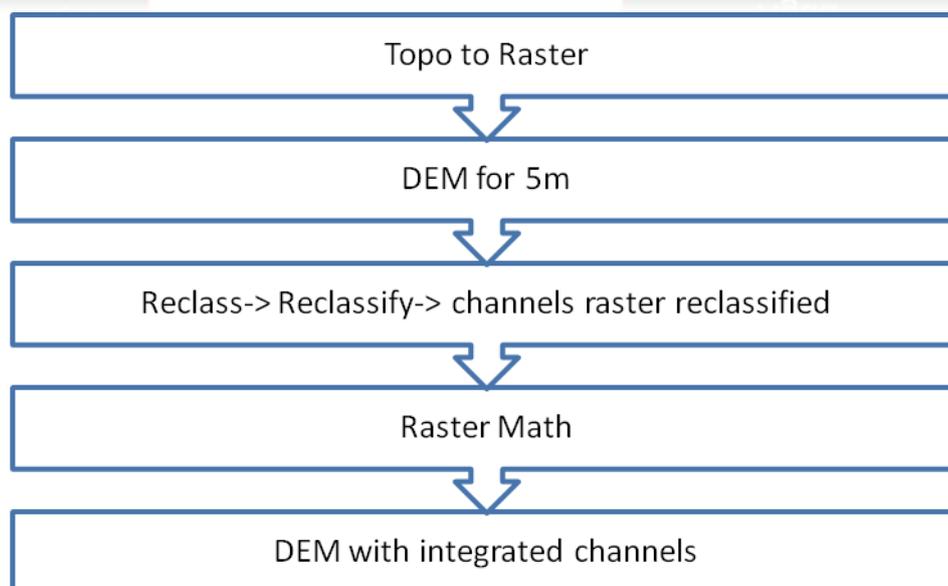


Figura 3-6: Passos aquando da criação do DEM (Figura em inglês)

Após a geração de um DEM com um tamanho de quadrícula de 5m, os canais de drenagem abertos foram integrados no modelo. Com a obtenção do DEM conforme a descrição acima, o lençol freático foi delineado utilizando quatro pontos de fluidez, direcção do fluxo e camadas raster de acumulação de fluxo.

Uma *sink* é uma quadrícula sem uma direcção de drenagem definida e qualquer quadrícula a sua volta que não esteja abaixo desta quadrícula. Visto que as quadrículas vizinhas têm uma maior elevação, a água permanece nesta quadrícula mais baixa e não pode escoar para qualquer direcção. As *sinks* podem ser depressões reais na paisagem como reservatórios, diques, áreas de recarga de águas subterrâneas e piscinas vernais. Se não houver uma explicação clara para as depressões reais, as *sinks* podem ocorrer devido a erros de dados. Para eliminar problemas de erros, as *sinks* devem ser preenchidas com recurso a uma ferramenta de preenchimento da *spatial analyst toolbox* ArcGIS. Se uma *sink* for preenchida, é preenchida até o seu ponto de fluidez, que é a elevação mínima ao longo do limite do seu lençol freático (Joseph, 2007). Assim que todas as *sinks* estiverem preenchidas, poderá obter-se um ficheiro DEM raster para 5m.

Após aumentar a elevação das *sinks*, a direcção geral do fluxo de água é determinada utilizando a “barra de ferramentas de direcção de fluxo” no ArcGIS. Esta ferramenta encontra a direcção do fluxo de cada quadrícula, investigando as 8 quadrículas (pixéis) em torno desta quadrícula. Existem sempre oito valores (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128) para oito quadrículas adjacentes neste método. Cada quadrícula leva um número e cada número indica uma direcção. As direcções dos fluxos e os seus respectivos códigos estão ilustrados na *Figura 3.7* e *Figura 3.8*. Esta abordagem foi apresentada em Jenson e Dominigue (1988) sendo denominado “modelo de fluxo de oito direcções” (ArcGIS Resource Centre, 2011). Quando cada quadrícula ou direcção recebe uma cor diferente, é mais fácil visualizar em que direcção a água iria fluir.

32	64	128
16	↑	1
8	4	2

Figura 3-7: Codificação de direcções

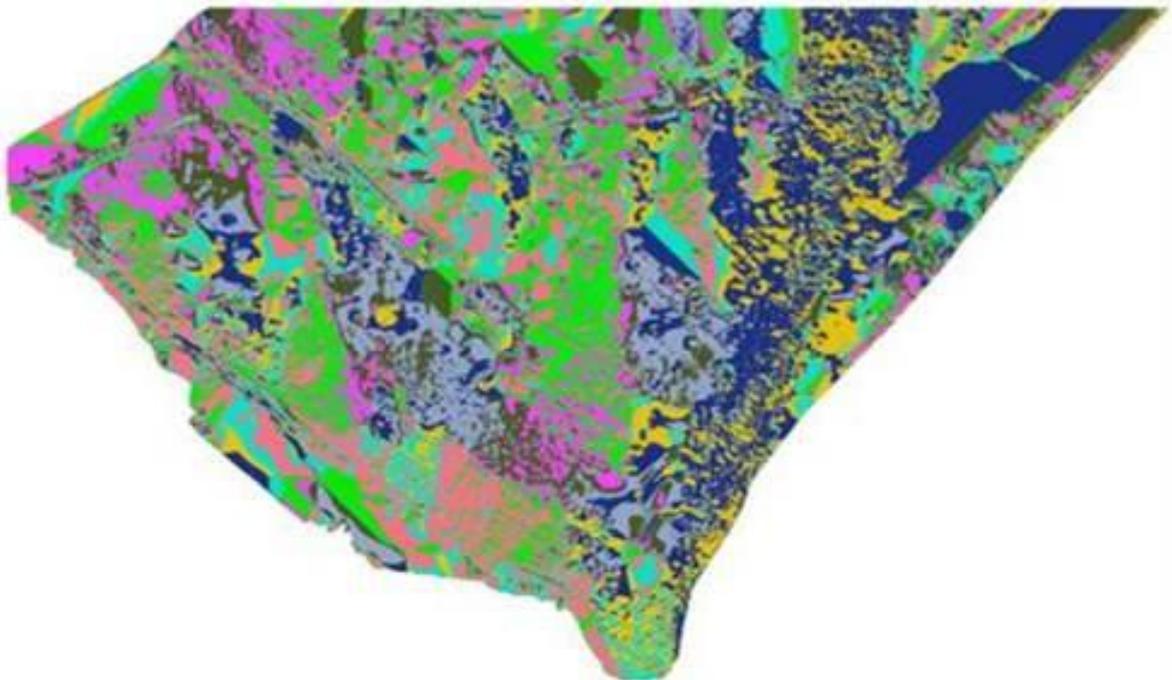


Figura 3.8: Direcções de fluxos calculadas para a área de estudo

No passo seguinte, calcula-se uma grelha de acumulação de fluxo utilizando uma camada raster de direcção de fluxo. Uma camada de acumulação de fluxo representa a quantidade de água que iria fluir para cada quadrícula na raster final (ArcGIS Resource Centre, 2011). As quadrículas que recebem a maior quantidade de fluxo de água têm cores mais claras e as que recebem menor quantidade de fluxo de água estão representadas com cores mais escuras. A Figura 3.9 ilustra que se acumula nos canais de drenagem abertos na área de estudo.



Figura 3-9: Canais existentes dentro da área de estudo (seta vermelha: saída da captação modelada)

O passo seguinte foi a colocação de pontos de fluidez (saída) em ArcGIS. A localização de pontos de fluidez é o passo mais importante numa modelação completa de um lençol freático, uma vez que estes representam essencialmente o fim de sub-bacias (*Figura 3.10*)

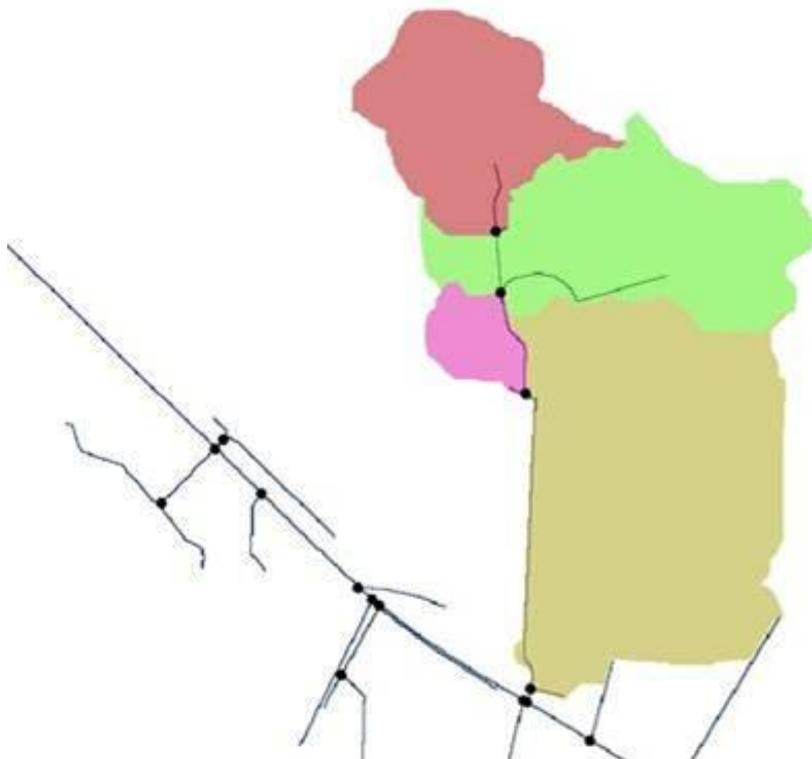


Figura 3-10: Colocação de pontos de fluidez para a área de estudo

Visto que um lençol freático ou captação é a zona de declive da qual a água flui para uma saída comum (ponto de fluidez) qualquer captação pode ser delineada automaticamente de um DEM adequado utilizando a direcção do fluxo e o dados raster dos pontos de fluidez (ArcGIS Resource Centre, 2011). De modo a obter um bom resultado de captação, as posições correctas dos pontos de fluidez foram escolhidos com particular cuidado. Assim, foram concluídos alguns testes com diferentes conjuntos de pontos de fluidez antes da delineação da bacia hidrográfica. A bacia obtida é ilustrada na *Figura 3.11*. As *Sub-captações* conforme a modelação em SWMM são mostradas em cores diferentes.



Figura 3-11: Bacia hidrográfica delineada via ArcGIS

3.5 ANÁLISE DE DADOS E MODELAÇÃO

3.5.1 Análise de dados

Durante três missões para Moçambique na fase de implementação do projecto foi feita a recolha de dados e informação. Deram-se os seguintes passos:

- Reunião com o Cliente
- Reunião com outros Consultores (*McKinsey, Consultec*) para discutir resultados de modelação anteriores e projectos em curso no sector de drenagem urbana
- Visitas a instituições relevantes em Maputo de modo a manter encontros com peritos na área de gestão de águas pluviais e gestão de recursos hídricos para solicitar oficialmente a entrega de relatórios, orientações de políticas, planos directores e documentos de estratégia relevantes ao Consultor:
 - Ara-Sul: Sr. Belarmino Chivambo, Sra. Lizete Dias, Sr. Agostinho Vilanculos
 - DNA – Direcção Nacional de Águas: Sra. Rute Nhamuche, Sr. Raul Mutivuiu,

- Sra. Luísa Conceição, Sr. Armando Pedro Cuinhane, Sr. Daudo Carimo
- FIPAG: Sra. Judite Renoldo Manhique
- UNHabitat: Sr. Paulo Conceição Júnior, Sr. Silva Magaia
- Universidade Eduardo Mondlane: Sr. José Rafael, Sr. António Queface
- AIAS: Sr. Valdemiro Matavela
- Departamento Municipal de Planeamento Urbano e Ambiente: Sr. Hecrálito Mucavele, Sra. Theresa Chissequere

Outras organizações foram contactadas por telefone e correio electrónico, mas não houve a possibilidade de as visitar devido a disponibilidade limitada dos respectivos peritos destas instituições. Deve-se referir especialmente que, apesar de várias tentativas, não foi possível realizar qualquer consulta com o Departamento Municipal de Drenagem e Saneamento Urbano.

Do mesmo modo, apesar de várias tentativas do Consultor, apoiado pelo Cliente, a obtenção de dados e documentos relevantes mostrou-se bastante difícil e morosa (para mais detalhes, ver Relatório Inicial para mais detalhes). Infelizmente, o Consultor não conseguiu obter (ou confirmar a existência de) dados GIS do sistema de esgotos e drenagem urbana de nenhuma das instituições envolvidas, dados estes que teriam constituído um fundamento crucial para o estabelecimento de um modelo de drenagem de águas pluviais para toda a cidade de Maputo³.

Dados recebidos até finais de Março de 2012:

- Precipitação: Precipitação diária (1960 – 2010)
 - Equação de tempestade-tipo (Relatório da DNA)
- Topografia:
 - Curvas de nível (*shapefile*, utilizado como DEM)
 - DEM fornecido pelo INGC em Março de 2012
- Documentos de Infra-estrutura
 - *Shapefile* da rede de estradas e ruas
 - *Shapefile* de habitação (para definição do coeficiente de escoamento)
 - Estudo de potencial de colheita água das chuvas com *shapefiles* de edifícios e estradas da parte Sudeste de Maputo
 - Ficheiros AutoCAD (.dwg) de áreas existentes de esgotos sanitários e drenagem de águas pluviais
- Relatórios descrevendo:
 - Limites de sub-captações (sem mapas)
 - Bairros com sistema de esgotos e canal aberto (sem ficheiros)

No total, os dados recebidos correspondem a situação descrita como Caso 2: “Fracca disponibilidade de dados” na Proposta Técnica submetida para este trabalho: “...não há dados prontamente disponíveis. Dados que incluem coeficientes de escoamento, uso da terra, principais drenos e cursos de água de escoamento de superfície apenas puderam ser extraídos de imagens satélite ou mapas e por comparação com contextos climáticos similares. O Consultor vai depender significativamente de conhecimento de peritos locais.”

Visto que foi possível obter alguns dados durante a principal fase do projecto, em particular através de um estudo de campo, os dados disponíveis para a modelação hidráulica melhoraram consideravelmente (*Tabela 3-2*):

³ Embora a existência destes ficheiros tenha sido mencionada ao Consultor diversas vezes, tal nunca foi confirmado.

Tabela 3-2: Disponibilidade de dados para a modelação do escoamento de águas pluviais em Maputo

Dado	Unidade	Possibilidades por dados recebidos
Dados de precipitação	[mm]	Dados pluviométricos diários dos últimos 50 anos mostram uma variação da precipitação.
Áreas contribuintes e pontos de ligação com o sistema de drenagem	[ha]	Através do DEM recebido recentemente foi possível obter uma clara delimitação da captação
Coefficiente de escoamento	[/]	Através de <i>shapefiles</i> de habitação recebidos recentemente foi possível obter uma definição suficientemente exacta de coeficientes de escoamento
Secção transversal, declive e comprimento de drenos, condutas e cursos de água naturais	[m]	Boa base de dados para a sub-captação escolhida com base nos dados de pesquisa gerados pelo Consultor
Instalações de Armazenamento/Tratamento	[m ³]	Dados não disponíveis.
Topografia (Elevação)	[m]	Disponível novo DEM

Resumindo a disponibilidade de dados, pode-se afirmar que através do estudo adicional no local foram preenchidos os padrões mínimos para a delimitação da captação e para os parâmetros de modelação. Uma vez que estão em falta dados ou informação sobre instalações de armazenamento e tratamento na captação, estas instalações não foram incluídas na sub-captação modelada.

Aquando da finalização dos estudos de campo, os dados disponíveis eram suficientes para a modelação de diferentes cenários dentro da sub-captação sob condições topográficas realísticas.

3.5.2 Configuração do Modelo

3.5.2.1 Breve descrição do programa de modelação SWMM5

- Modelo de Gestão de Águas Pluviais (SWMM)
- Versão 5 / PC / Acesso livre (em Inglês)
- Desenvolvido desde 1971 pela Agência Americana de Protecção Ambiental (EPA)

O Modelo de Gestão de Águas Pluviais (SWMM) da EPA é um modelo dinâmico de simulação do escoamento de precipitação que calcula a quantidade e qualidade do escoamento de zonas primordialmente urbanas. O modelo pode ser utilizado, de entre outros, para modelar alguns dos tipos mais comuns de problemas de gestão de águas pluviais e de desenho encontrados na prática. Estes incluem: cálculo de escoamento para condições pré e pós desenvolvimento; análise das características hidráulicas de sistemas de captação simples; desenho de uma bacia de retenção multi-usos; controlos de escoamento de baixo impacto distribuídos pela modelação; simulação de acumulação, washoff, transporte e tratamento de poluentes de águas pluviais; análise de sistemas de drenagem dupla e de esgotos combinados; e realização de simulações contínuas de longo prazo.

A componente de escoamento do SWMM opera num conjunto de áreas de sub-captação que recebe precipitação e gera cargas de escoamento e poluentes. A parte de trajecto do SWMM transporta este escoamento através de um sistema de tubos, canais, dispositivos de armazenamento/tratamento, bombas e reguladores.

Visto que o SWMM5 não é um modelo de inundação, a inundação da sub-captação não pode ser simulada directamente no modelo, calculando-se ao invés disso a localização exacta em que a enchente ocorre e a quantidade exacta de água que sai do sistema de drenagem modelado.

Ficheiros de instalação, manuais e toda a informação estão disponíveis livremente em <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm>

o objectivo da utilização do SWMM5 neste projecto é criar um modelo dinâmico de simulação de escoamento de água das chuvas que possa ser utilizado para um único evento ou para a simulação contínua (longo prazo) da quantidade e qualidade de escoamento de zonas primordialmente urbanas de Maputo.

3.5.2.2 Características da área de estudo

A área de estudo, ou seja, a captação, localiza-se a Nordeste de Maputo, que inclui os bairros de Maxaquene e Mavalane. A água das chuvas é parcialmente colectada por canais e transferida para o cruzamento das Av. Joaquim Chissano e Av. Acordos de Lusaka, onde o principal canal da área de estudo (paralelo a Av. Acordos de Lusaka) descarrega para o principal esgoto de águas pluviais (paralelo a Av. Joaquim Chissano).

A dimensão⁴ da área de captação é de aproximadamente 277 ha e está dividida em 5 sub-captações para um melhor entendimento e análise da área (ver também *Figura 3.11*: Bacia hidrográfica delineada via ArcGIS.). o principal canal da área de estudo está cercado por todas as sub-captações. A *Tabela 3-3* mostra as propriedades geométricas das 5 sub-captações e a *Figura 3.12* mostra uma visão geral da área de estudo com as sub-captações assinaladas (S1, S2, ...) e nós assinalados (= cruzamentos) ao longo do principal canal. A linha vermelha na *Figura 3.12* denomina um novo canal secundário de esgotos de águas pluviais que atravessa Maxaquene A ao longo da Avenida Milagre Mabote. Este novo canal drena cerca de metade da Sub-captação S5 directamente para o principal esgoto de recepção de águas pluviais, reduzindo assim o afluxo para o principal canal da área de estudo (paralelo a Av. Acordos de Lusaka).

Tabela 3-3: Propriedades geométricas de sub-captações na área de estudo

Sub-captação	Área (ha)	Extensão do Fluxo (m)	Largura (m)	Inclinação (%)	Impermeabilidade (%)
S1	51.49	944	545	0.58	80
S2	6.58	434	152	1.3	75
S3	68.20	1108	616	1.5	75
S4	12.12	520	233	0.9	85
S5	138.61	1460	949	1.4	77

⁴ Os termos em *Itálico* denominam termos conforme a sua denominação no modelo SWMM5 (em inglês)

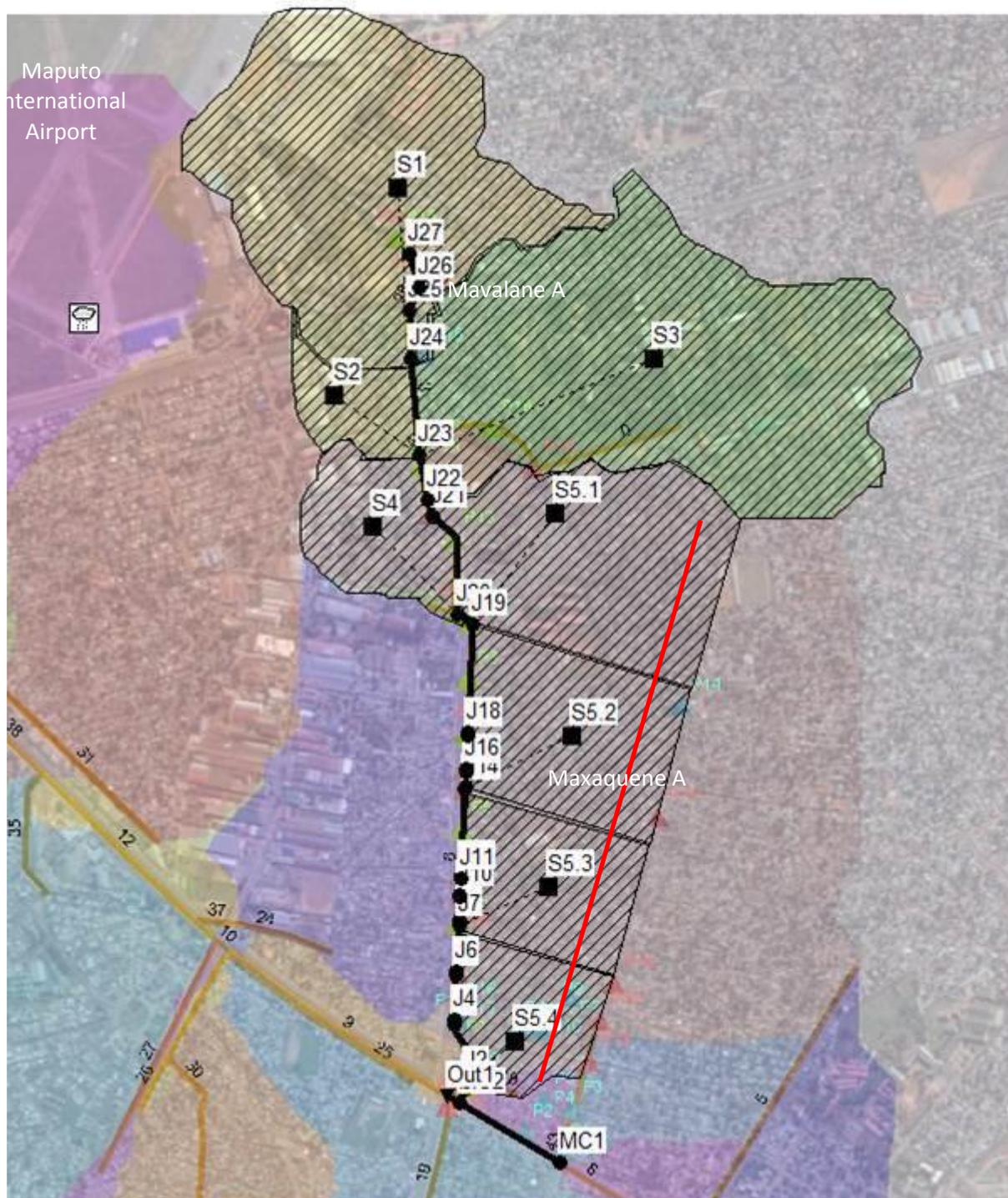


Figura 3-12: Visão geral do Caso de estudo com sub-captações identificadas (S1, S2, ...) e Nós identificados de principais canais



Figura 3-13: Vista típica da área de estudo

No geral, a *extensão* de uma área é calculada através da *área* dividida pelo *comprimento do fluxo*. O *comprimento do fluxo* é o mais longo percurso do fluxo à superfície que a água pode fazer através da sub-captação (Gironas, 2009). O *declive* de cada sub-captação é determinado através de um GIS (no nosso caso, ArcGIS). O ideal seria que a *impermeabilidade* de uma área, ou seja, o coeficiente de escoamento de superfície, fosse medida directamente no terreno ou calculada de ortofotografias através da determinação do uso da terra (Gironas, 2009). Na presente área de estudo, o coeficiente de escoamento é calculado com base em imagens de satélite e ficheiros GIS sobre o uso da terra na sub-captação.

Devido a elevada densidade habitacional na área de captação, calcula-se que a impermeabilidade seja entre os 75-85 %. Isso significa que a taxa de infiltração em toda a sub-captação é muito baixa. Para a infiltração, foi escolhido o modelo *Horton* e o modelo de percurso foi definido para *dynamic wave routing* (onda dinâmica) de modo a acautelar de possíveis efeitos de refluxos.

Para a definição de sistemas de transmissão, são acrescentados *nós* de cálculo. Os nós representam o local em que o escoamento entra no sistema de drenagem, onde dois ou mais canais juntam-se e onde o *declive* ou *secção* de um canal mudam significativamente (Gironas, 2009). Com relação a esta definição, a localização destes nós e as suas elevações são determinadas por via de um GIS. Na sub-captação modelada as profundidades máximas dos nós foram definidas de acordo com os resultados do estudo de campo. A saída da área de estudo é indicada como *Out1*.

No SWMM5 os canais nos quais as águas pluviais são colectadas e descarregadas estão representados por ligações (*condutas*) nas quais o escoamento está a ser direccionado para a *saída* da captação. Para o exercício de modelação do presente projecto, pôde-se representar as formas dos canais exactamente no modelo (ex.: canais primários de drenagem abertos trapezoidais, canais abertos rectangulares secundários). Duas das *condutas*, localizadas junto a saída, foram denominadas canaletas.

Drenagem de Águas Pluviais de Maxaquene A e Mavalane A

O canal aberto na Av. Joaquim Chissano transporta água de A e Mavalane A e de vários outros bairros de Maputo em direcção ao Rio Infulene e finalmente para o mar. Para considerar o escoamento de águas pluviais doutras partes de Maputo no modelo, admitiu-se para este canal um fluxo constante de 4 m³/s. O *coeficiente de rugosidade de Manning* de todos os canais abertos foi calculado em 0.01 para canais e canaletas *abertos trapezoidais e rectangulares*. As canaletas foram consideradas canos *fechados rectangulares*. Contudo, estes têm *wing walls* com 45° de inclinação e uma *headwall* com 90°. Para as perdas de entrada e saída nas canaletas, admitiu-se que os coeficientes fossem de 0.4 e 1.0.

Dados pluviométricos

Visto que o risco de enchente, sendo uma função de possíveis danos e probabilidade de ocorrência, está sempre fortemente associado ao período de retorno de eventos pluviométricos, os resultados estatísticos da análise pluviométrica constituem um dos principais elementos da modelação de escoamento.

O Consultor recebeu dados pluviométricos diários de 1960 a 2010 de uma estação meteorológica em Maputo. Durante a fase inicial a Ara-Sul indicou (confirmado pelo INGC) que não existem mais dados pluviométricos (i.e., nenhuma resolução temporal superior) para a área de Maputo. No entanto, foram encontradas Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (Curvas IDF) para Tempestade-tipo de 15-180 minutos num relatório da Direcção Nacional de Águas (DNA 2005).

Para a derivação de uma tempestade-tipo adequada, foram utilizadas estas tempestades-tipo de pluviosidade publicadas pela DNA. Foram considerados períodos de retorno de tempestades de 2 e 5 anos. As intensidades pluviométricas foram obtidas num intervalo de tempo de 10 minutos. A *Tabela 3-4* mostra uma visão geral da intensidade e duração de chuvas para eventos pluviométricos de 2 e 5 anos.

Tabela 3-4: Intensidade (cumulativa) e duração para precipitação (DNA, 2005)*

Duração (horas)	Precipitação com período de retorno de 2 anos (mm)	Precipitação com período de retorno de 5 anos (mm)	Precipitação com período de retorno de 2 anos + 20% ⁵ (mm)
9:00	0	0	0
9:10	9,47	12,95	11,36
9:20	18,94	25,90	22,73
9:30	28,41	38,85	34,09
9:40	37,88	51,80	45,46

* A tabela mostra parâmetros de desenho para as condições actuais. Ainda não existem para Maputo dados de desenho sob condições de mudanças climáticas.

Para a primeira tentativa de modelação, foram utilizados os dados pluviométricos publicados para Maputo por Palalane (2010), com as quantidades de chuva apresentadas na *Tabela 3-5* para um período de retorno de 2 anos (de acordo com EN 752 (1996, para áreas habitacionais)

⁵ Assumed "realistic worst case" climate change effect. Please note that this is just an assumed value, therefore also the return period is neither recalculated nor otherwise adapted.

publicado pela DNA (2005)). Foi escolhida para a primeira tentativa de modelação uma tempestade-tipo com a duração de 40 minutos.

Tabela 3-5: Tempestade-tipo

t (h:min)	9:00	9:10	9:20	9:30	9:40
P2a (mm)	0	9.47	18.94	28.41	37.88

Source: Palalane, 2010

3.5.3 Estudo de campo

Em Março de 2012 realizou-se um estudo de campo com investigações detalhadas nos bairros de Maxaquene A e Mavalane A. O estudo também incluiu um conjunto de entrevistas com um número representativo (187) de moradores de ambos os bairros. Seis estudantes estiveram envolvidos no estudo de campo ao longo de um período de três semanas, duas das quais foram despendidas no terreno e uma semana no escritório para a produção do relatório. O trabalho de campo incluiu uma pesquisa topográfica assim como entrevistas com moradores dos bairros de Maxaquene A e Mavalane A. Para Mavalane A, poderá consultar o Anexo para ver os questionários utilizados e os respectivos resultados.

Âmbito de serviços para investigações no terreno

A agenda das investigações no terreno tinha duas componentes:

1. Investigação detalhada sobre estruturas de drenagem como canais abertos e cursos de água (posicionamento geográfico, medição do perfil e inclinação, documentação do estado operacional), também necessária para uma definição detalhada dos limites da captação. Métodos de medição: Estudos de nível, fotografias com coordenadas GPS, etc.
2. Entrevistas com moradores de casas que são inundadas devido as águas pluviais. Método: Questionário e documentação (fotografias com coordenadas GPS)

Área de interesse

A *Figura 3.14* mostra os limites da sub-captação delineados na imagem aérea (Google Earth).



Figura 3-14: Delineação da captação de estudo. As “sub-captações”, definidas no modelo SWMM, são mostradas em diferentes cores.

Investigação detalhada sobre estruturas de drenagem como canais e cursos de água abertos

As investigações topográficas começaram da saída hidráulica da captação, que é o principal ponto de estrangulamento no fim do principal canal da captação, ver *Figura 3.15* e *Figura 3.16*. Daí a pesquisa avançou para Norte ao longo do principal canal paralelo a Av. Acordos de Lusaka.

Métodos de medição

- Medições de GPS
- Medição com fita-métrica

Canais

As seguintes medidas foram tiradas a cada 100 metros ao longo do canal, à medida que os respectivos dados se tornavam necessários para os cálculos hidráulicos e modelação:

- 1) Largura na extremidade superior do canal
- 2) Largura na extremidade inferior do canal (largura de fundo)
- 3) Profundidade do canal

Para 2) e 3): foram tiradas 2 medidas diferentes:

- a) Largura/profundidade real – tal como está presentemente, ou seja, com vegetação
- b) Largura/profundidade teórica – como estaria se não houvesse vegetação. Para este propósito poderá ser necessário retirar a vegetação num dado ponto do canal.

Comentário: Por haver muitos resíduos sólidos depositados na soleira dos canais abertos, o objectivo do estudo era, de entre outros, comparar o perfil original idealizado e o estado real com a profundidade de resíduos sólidos, nomeadamente, vegetação (para definir os coeficientes de rugosidade hidráulica).



Figura 3-15: Medições tiradas no canal

Canaletas

As seguintes medidas foram tiradas em todas as canaletas dentro da sub-captação ou no limite da sub-captação (Figura 3.14). Os respectivos dados foram necessários para os cálculos hidráulicos e modelação:

- 1) Largura da canaleta
- 2) Altura livre da canaleta
- 3) Profundidade do canal na canaleta

Para 2) e 3) foram tiradas duas medidas diferentes:

- a) Largura/profundidade real – tal como está presentemente, ou seja, com vegetação
- b) Profundidade real – tal como está presentemente, ou seja, com vegetação ou lixo ou resíduos sólidos depositados

- c) Largura/profundidade teórica – como estaria se não houvesse lixo ou resíduos sólidos. Para este propósito poderá ser necessário retirar os resíduos sólidos num dado ponto da canaleta.

Por existir uma quantidade substancial de resíduos sólidos depositados também nas canaletas, reduzindo parcialmente a sua secção transversal livre em mais de 50%, o objectivo do estudo era, de entre outros, comparar o perfil original idealizado e o estado real com a profundidade dos sólidos (para definir as secções transversais livres os coeficientes de rugosidade hidráulica).



Figura 3-16: Canaleta no cruzamento Av. Joaquim Chissano / Av. Acordos de Lusaka

Canais secundários

A informação a seguir foi recolhida de todos os canais secundários dentro da sub-captação ou na borda da sub-captação:

- 1) Localização de canais: Fotografia com GPS e/ou localização no mapa
- 2) Tipo de canal, i.e., canal em terra ou em betão
- 3) Formato do perfil, i.e., rectangular, trapezóide
- 4) Largura na extremidade superior do canal
- 5) Largura na extremidade inferior do canal (largura de fundo)
- 6) Profundidade do canal
- 7) Documentação do estado operacional, i.e.: “totalmente operacional” ou “inoperacional por estar bloqueado por pedras, lixo, etc.” ou “parcialmente operacional devido a presença de vegetação”



Figura 3-17: Canal secundário no Bairro do Maxaquene

3.5.3.1 Investigação na área de interesse referente a possíveis medidas de Gestão Integrada de Bacia Hidrográfica Urbana

Foram elaborados questionários e os moradores da área da sub-captação foram entrevistados no decurso do estudo de campo. Os questionários foram respondidos pelos moradores de Maxaquene A e Mavalane A em entrevistas interpessoais levadas a cabo pelo Consultor com o apoio da Universidade Eduardo Mondlane. Tomou-se cuidado no sentido das entrevistas serem distribuídas de forma quase igual na área da sub-captação.

Estas investigações tentaram cobrir uma cota representativa da população de Maxaquene A e Mavalane A.

Foram colocadas as seguintes perguntas a um total de 187 agregados familiares:

PARTE 1: ENCHENTES URBANAS

- Pergunta 1: Com que frequência se registam enchentes no seu bairro?
- Pergunta 2: A que altura o nível de água chega normalmente e quanto tempo a enchente dura normalmente?
- Pergunta 3: Em que ano ocorreu a pior enchente que tenha presenciado neste bairro? Qual foi a altura da água? Quanto tempo a enchente durou?
- Pergunta 4: Na sua opinião qual é a principal razão para a ocorrência de enchentes no seu bairro?
- Pergunta 5: Que medidas ajudariam a evitar as enchentes ou gerar um escoamento mais rápido da água das chuvas do seu bairro?
- Pergunta 6: Está informado sobre as obras de construção em curso no seu bairro para melhorar a situação de drenagem da água das chuvas? (i.e. construção de novos

canais)

- Pergunta 7: Acha que a construção de novos drenos vai ajudar a resolver os problemas de enchentes? Se não: Por quê?
- Pergunta 8: Acha que existe algum espaço no seu bairro no qual se poderia armazenar a água das chuvas (i.e. uma bacia de retenção) para depois ser libertada para o mar depois das chuvas?
- Tem outras sugestões sobre uma forma de resolução do problema de enchentes urbanas?

PARTE 2 – GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS URBANAS

- Pergunta 9: Onde / como recebe a sua água potável? Ligação domiciliar a rede pública? Fontanário público? Poço público? Poço privado (se for outro, por favor especifique)?
- Pergunta 10: Qual é a fiabilidade do seu abastecimento de água? 24h por dia? Algumas horas por dia? Alguns dias por semana? Por favor descreva:
- Pergunta 11: A falta de água potável as vezes constitui um problema no seu bairro?
- Pergunta 12: O que acontece as águas residuais produzidas no seu agregado? A remoção destas águas da sua casa/quintal constitui um problema?
- Pergunta 13: As águas residuais das casas de banho (águas negras) são separadas das restantes (águas brancas)?
- Pergunta 14: As águas residuais causam problemas higiénicos no seu bairro?
- Pergunta 15: Faz a captura de água da chuva na sua casa/quintal?
- Pergunta 16: Como é organizada a recolha de resíduos sólidos no seu bairro?
- Pergunta 17: A recolha/remoção de resíduos sólidos funciona devidamente? Se não: que problemas existem e como estes poderiam ser resolvidos?

As principais constatações das entrevistas estão resumidas Segundo a lista abaixo. Para obter resultados detalhados consulte o Anexo.

Sobre as enchentes urbanas:

1. Ambos os bairros sofrem de inundações por mais de 2 dias seguidos cerca de 1-2 vezes por ano, com o respectivo nível de inundações a situar-se entre os 0 e 0.5 metros. A maior enchente de que há memória por parte dos moradores aconteceu no ano 2000 no qual o bairro permaneceu inundado por mais de 2 meses.
2. A principal razão das enchentes, segundo os entrevistados, era a saturação dos solos e a falta de canais de drenagem, associado a outras razões não especificadas. A ausência de manutenção dos canais e o bloqueio dos mesmos, por exemplo, por resíduos sólidos não foram considerados razões para as enchentes pela maioria dos entrevistados. Consequentemente, a construção de novos canais é considerada a medida mais apropriada e eficaz para melhorar a situação de drenagem.
3. O nível de informação relativa as medidas de construção em curso para novos canais de drenagem de águas pluviais nos bairros era baixo.
4. Os moradores entrevistados não imaginavam que pudesse existir espaço suficiente para construir uma bacia / piscina de retenção de águas pluviais no bairro de Maxaquene A ou Mavalane A.

Sobre possíveis medidas de gestão integrada de águas urbanas:

1. Cerca de 50% dos entrevistados em Maxaquene A e 70% em Mavalane A tem ligação a rede pública de abastecimento de água com disponibilidade de água 24h por dia. Os

restantes moradores entrevistados obtêm a sua água de fontanários públicos. No entanto, a maioria dos moradores afirma que existem problemas frequentes de qualidade da água no bairro.

2. Uma grande maioria dos entrevistados afirmou que havia no bairro problema higiênicos causados pelas águas residuais. Enquanto em Maxaquene A cerca de 50% dos entrevistados liberta as suas águas residuais para canais próximos, apenas 30% dos moradores em Mavalane A tem a possibilidade e o fazer, sendo que os restantes libertam as suas águas residuais num local directamente contíguo as suas habitações.
3. Apenas cerca de 20-25% dos entrevistados captura água da chuva para uso privado, principalmente através dos chamados 8 baldes (i.e. 8 x 20ltr). Esta água capturada é utilizada essencialmente para lavar (Maxaquene A) e para cozinhar (Mavalane A).
4. Embora as pessoas que não capturam a água da chuva alegam que a “falta de hábito” é a principal razão, apenas cerca de 5% dos entrevistados afirmou não ter meios para comprar o equipamento necessário para captura e armazenamento de água da chuva.
5. A maioria dos entrevistados está contente com a recolha de resíduos sólidos 2-3 vezes por semana tal como está organizada de momento, pese embora não haja uma recolha directamente do seu bairro.

3.5.4 Resultados finais da modelação

Os resultados do estudo de campo (*Figura 3.18*) foram utilizados para melhorar o modelo preliminar e para levar a cabo uma verificação de plausibilidade de todas as hipóteses levantadas até o momento. Podem ser definidas novas canaletas ao longo do principal canal em paralelo a Av. Acordos de Lusaka. Por fim, foram definidos 29 nós ou *cruzamentos* no modelo melhorado comparativamente aos 9 *cruzamentos* do modelo preliminar.

Uma outra melhoria poderia ser feita através da adaptação das secções transversais de canais e condutas abertos e das canaletas. Do mesmo modo, as elevações da soleira das condutas e das canaletas foram modificadas incluindo verificações de plausibilidade com recurso a um novo DEM. Todavia, alguns detalhes irão permanecer incertos nos pontos em que o estudo de campo e o novo DEM apresentam diferenças significativas entre eles (ex.: Nó J24). A ausência de qualquer declive na secção J8-J10 também parece que teria que ser novamente verificada com um equipamento topográfico mais preciso.

Tabela 3-6: Elevações da soleira dos nós/cruzamentos no modelo melhorado de acordo com os resultados do estudo de campo

Nome	Elev. Da Soleira	Profund. Máxima	Nome	Elev. Da Soleira	Profund. Máxima
J1	22.20	2.7	J16	26.20	2.1
J2	23.10	2.7	J17	26.70	2.1
J3	23.80	2.7	J18	27.00	1.98
J4	23.80	1.95	J19	27.70	1.98
J5	24.10	1.95	J20	27.90	1.9
J6	24.30	1.91	J21	28.00	1.9
J7	24.60	1.91	J22	28.00	1.9
J8	24.90	2	J23	28.00	1.9
J9	24.90	2	J24	28.20	1.2
J10	24.90	2	J25	28.40	1.2
J11	25.20	2	J26	29.40	1.9
J12	25.30	2	J27	29.90	1.9
J13	26.10	2	MC1	25.30	2.7
J14	26.20	2.1	MC2	22.20	2.7
J15	26.20	2.1			

As *sub-captações* da área de estudo foram também modificadas de acordo com o estudo de campo. Assim, a *dimensão* área de *sub-captação* 5 foi reduzida considerando um novo canal principal ao longo da Av. Milagre Mabote que leva o escoamento de superfície contribuinte directamente para o principal canal da Av. Joaquim Chissano.

A *Figura 3.18* apresenta uma visão geral da infra-estrutura de drenagem de águas pluviais investigada e a sua posição dentro da área de estudo. A seguir, *Figura 3.19* a *Figura 3.22* dão uma informação mais detalhada sobre os resultados do estudo de campo.

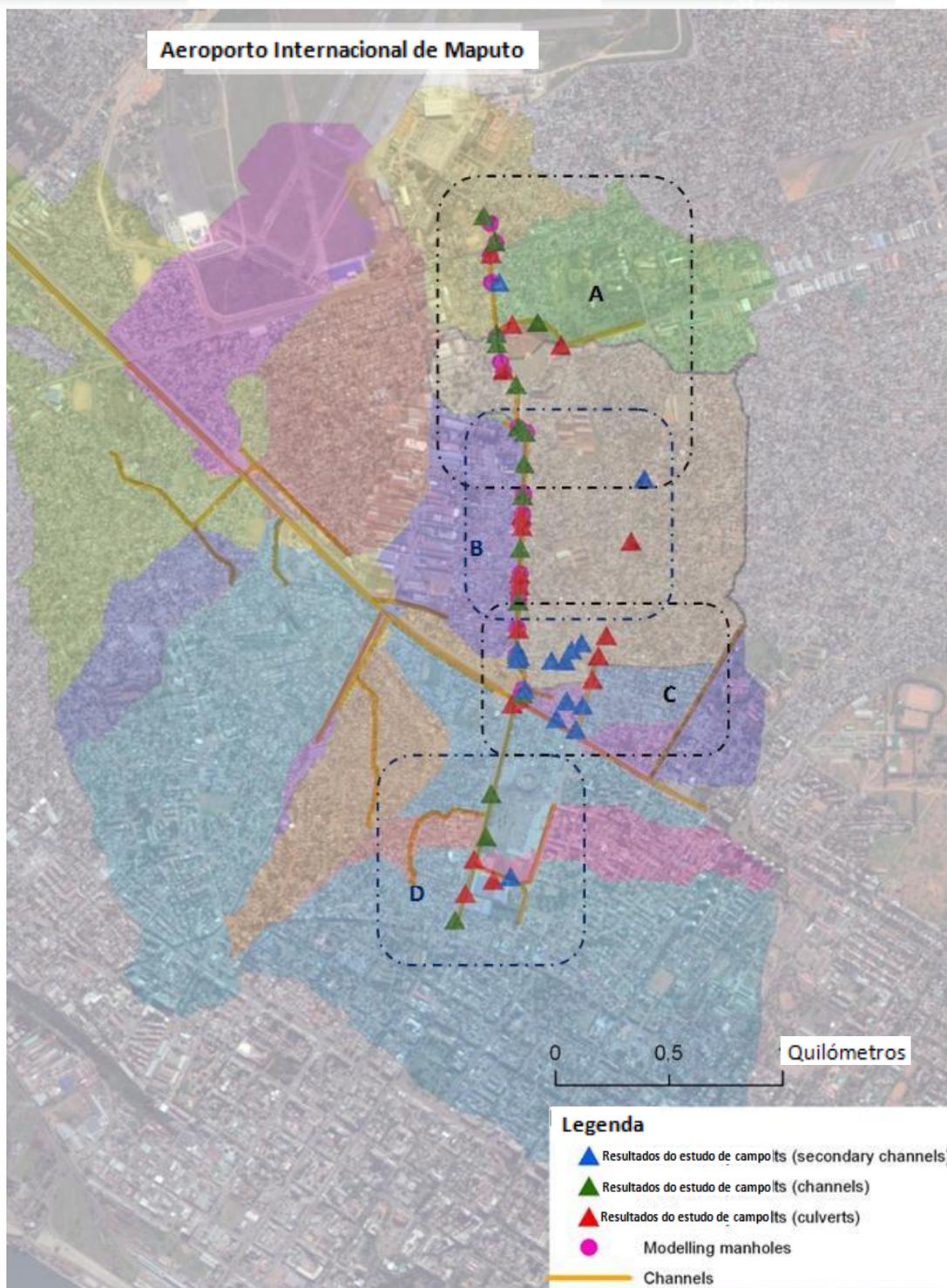


Figura 3-18: Resultados do estudo de campo, visão geral da secção

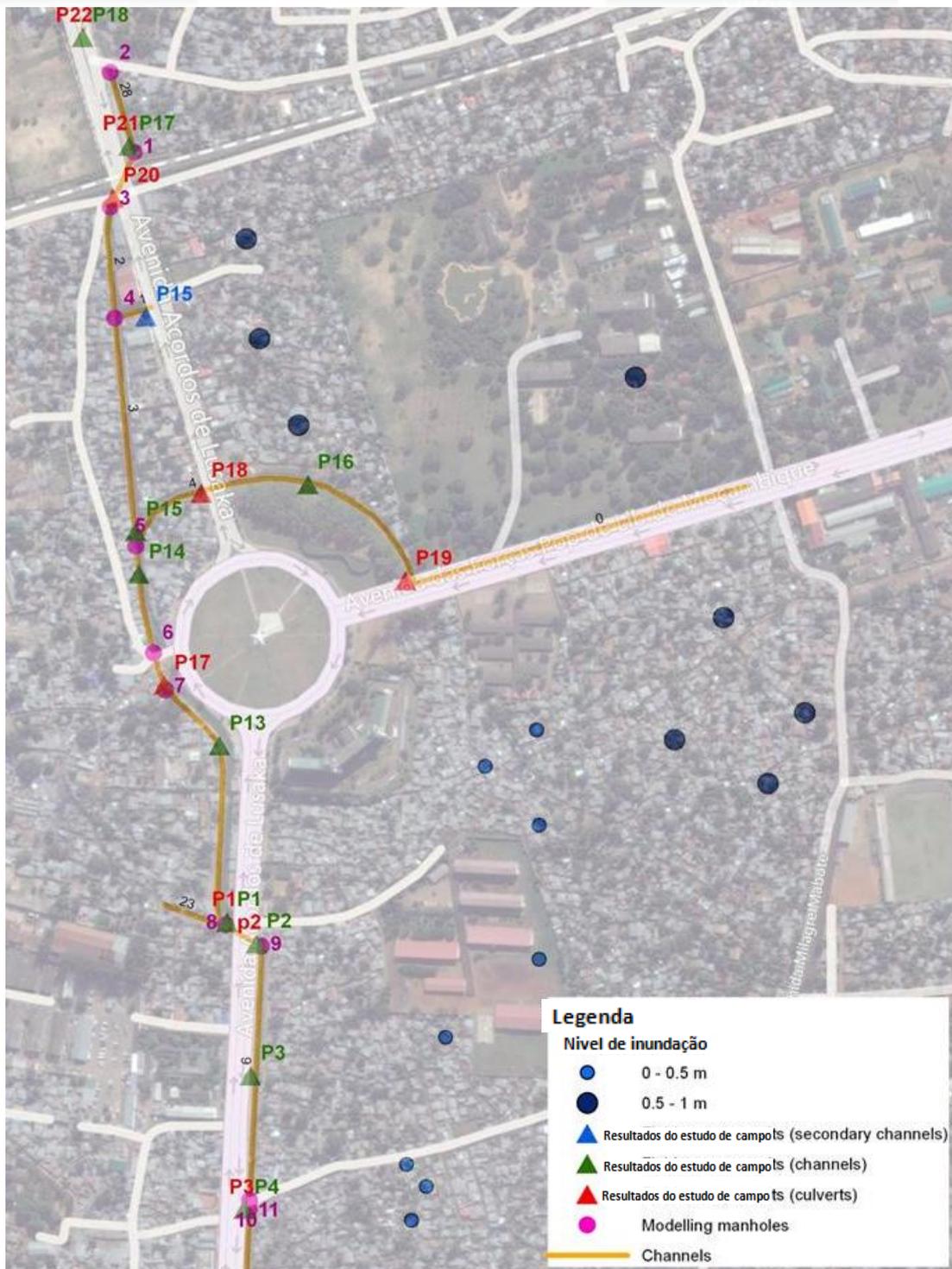


Figura 3-19: Resultados do estudo de campo, secção A

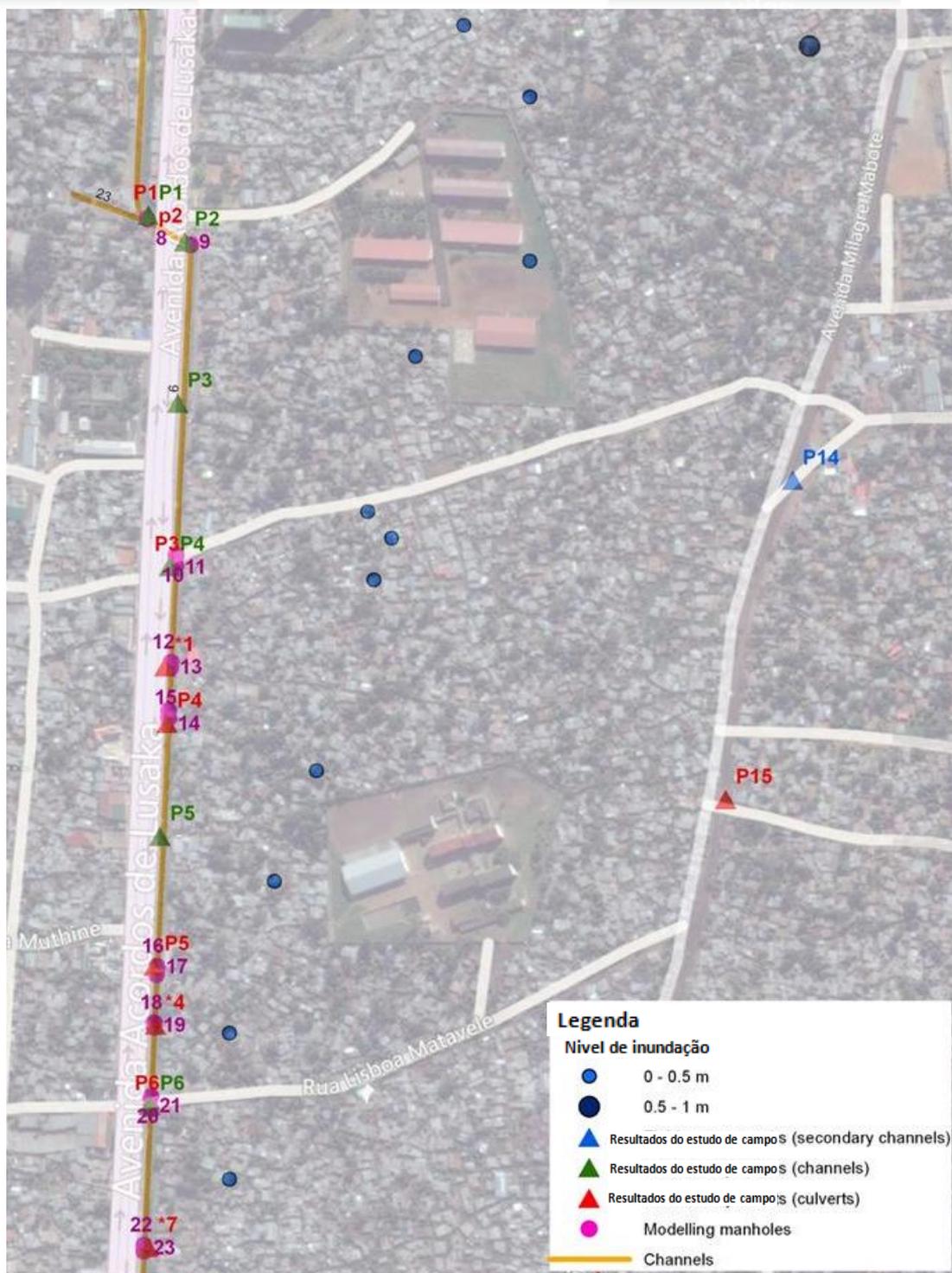


Figura 3-20: Resultados do estudo de campo, secção B

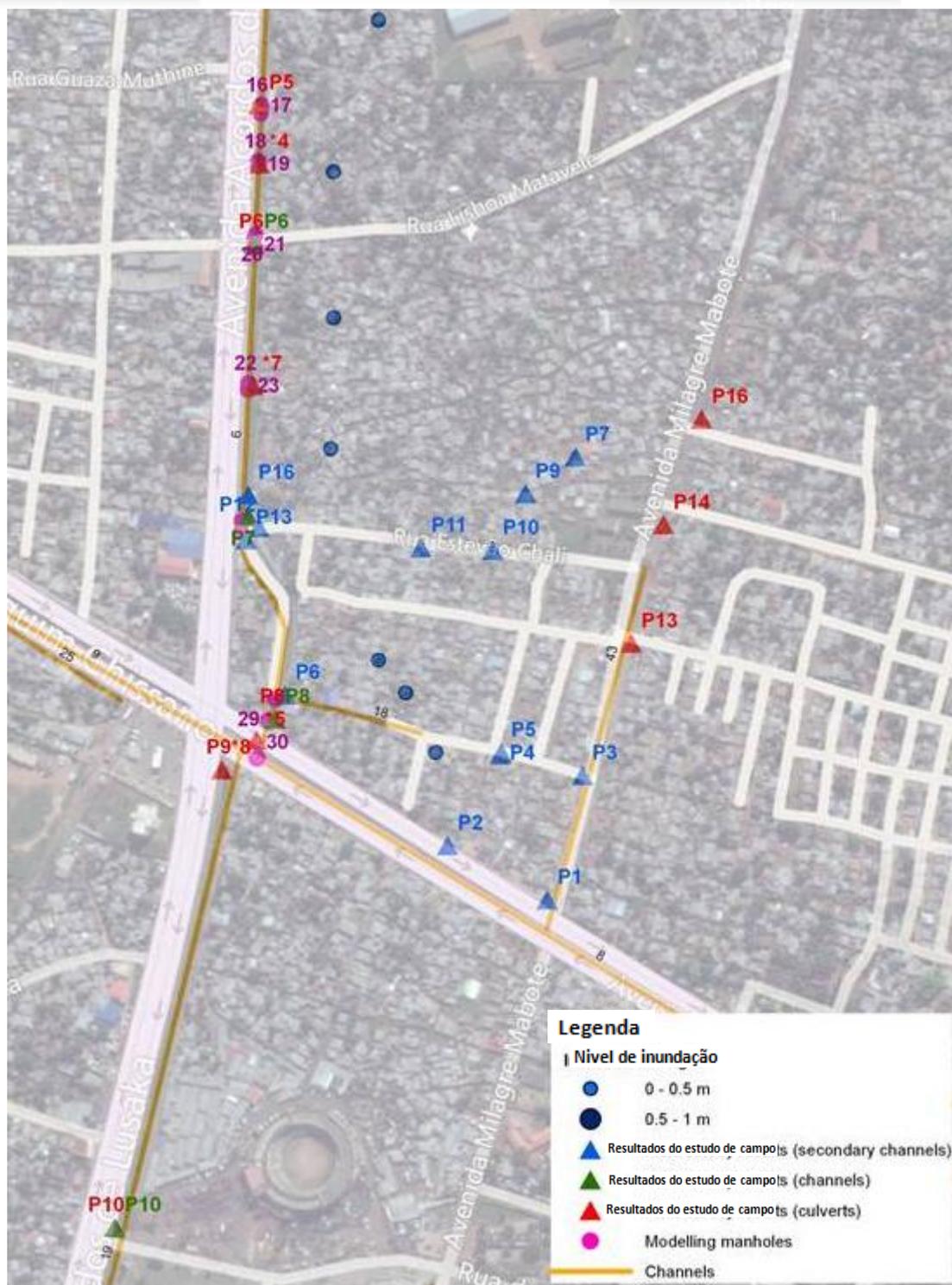


Figura 3-21: Resultados do estudo de campo, secção C



Figura 3-22: Resultados do estudo de campo, secção D

Relativamente as canaletas recém-estudadas, a sub-captação 5 foi dividida em 4 partes com 4 entradas para o principal canal da Av. Lusaka ao invés de apenas 1 entrada do modelo preliminar o que dá mais precisão aos resultados. O novo modelo é mostrado na *Figura 3.23* com elevações da soleira exactas conforme a medição no estudo de campo apresentado na *Tabela 3-7*.

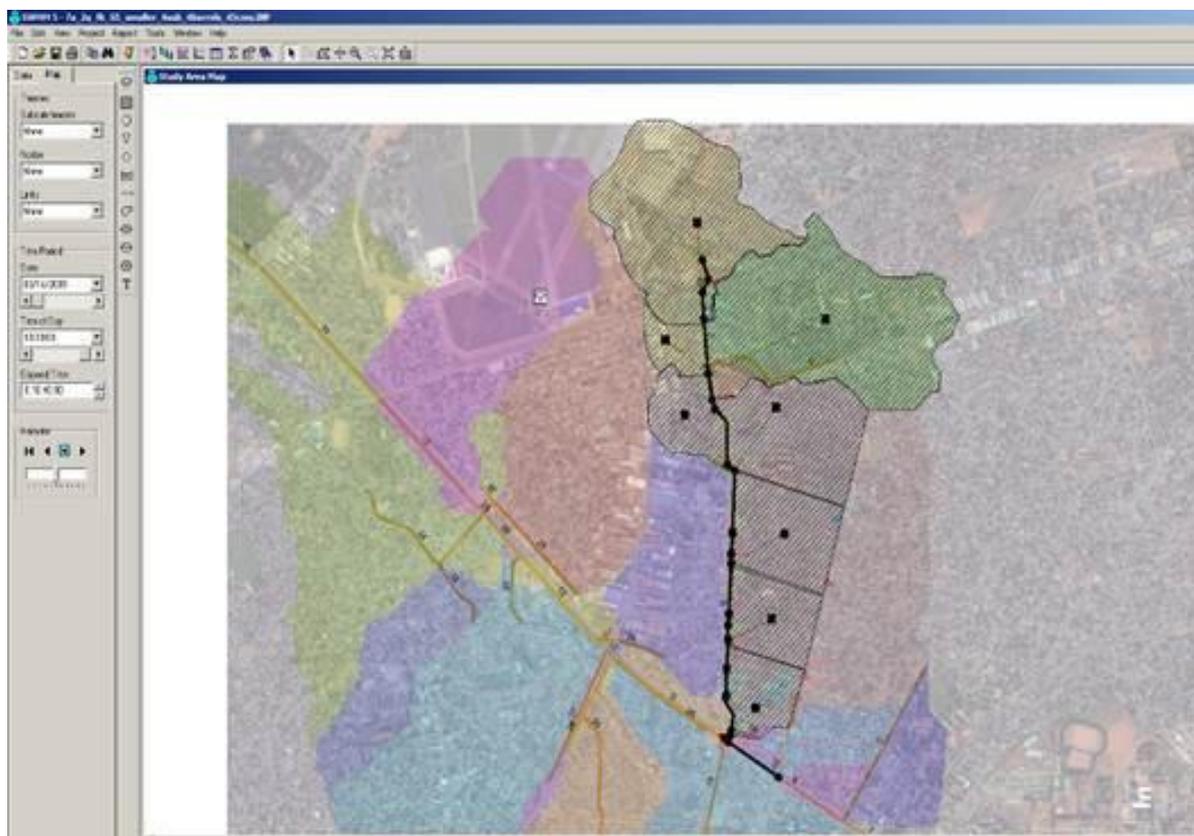


Figura 3-23: Visão geral do modelo melhorado com a nova estrutura de sub-captações

Tabela 3-7: Propriedades geométricas da soleira de sub-captações no modelo melhorado de acordo com o estudo de campo

Sub-captação	Área (ha)	Comprim. Do Fluxo (m)	Largura (m)	Declive (%)	Impermeabilidade (%)
S1	51.49	944	545	0.58	80
S2	6.58	434	152	1.3	75
S3	68.20	1108	616	1.5	75
S4	12.12	520	233	0.9	85
S5.1	30.6	??	650	1.4	77
S5.2	20	??	530	1.4	77
S5.3	15	??	420	1.4	77
S5.4	11.8	??	330	1.4	77

As condições de fronteiras para todos os cenários abaixo descritos foram:

- Tempestade-tipo de 2 anos de acordo com EN 752 (1996, para zonas habitacionais) publicado pela DNA (2005)
- Descarga contínua no principal Canal receptor da Av. Joaquim Chissano: 4 m³/s

Como comentário sobre as restantes incertezas do modelo após a implementação dos resultados do estudo de campo, todos os resultados de modelação foram analisados sob as seguintes restrições:

1. A área de estudo foi investigada sem uma interacção dinâmica com as *sub-captações* do bairro e à jusante de Maputo. Foi a decisão acertada de acordo com as restrições de tempo e orçamento. Contudo, para as decisões finais referentes as medidas a serem tomadas deve-se recomendar fortemente que todas as *captações* que interagem devem ser modeladas de forma integrada.
2. As *sub-captações* do modelo ainda são relativamente grandes e, como tal, o percurso do fluxo terrestre ainda é teórico devido aos longos trajectos do fluxo com mais de cem metros. Pode ser melhorado através de uma maior investigação aos vários trajectos de fluxo tais como canais secundários e terciários e da sua implementação no modelo juntamente com uma maior discretização através de uma maior subdivisão das *sub-captações*.
3. Um fenómeno hidráulico especial não pode ser calculado no modelo. Deve-se considerar bastante provável que pode ocorrer nas pontes ao longo do principal canal modelado um transbordo para o canal à jusante em situação real de enchente, mas não no modelo. Estes podem levar a uma sobrestimação da enchente à jusante. Este problema pode ser resolvido pela inserção no modelo de estruturas especiais para deter o transbordo, mas apenas faz sentido num modelo muito mais detalhado do que o utilizado no presente estudo.
4. A última restrição é a incerteza prevalecte sobre certos níveis de superfície e soleira dos canais, o que leva a incertezas relativamente aos declives de certos canais:
 - a) Nó J24 Elevação pouco clara: isto significa que ainda após o estudo de campo e os novos dados do DEM a elevação deste nó parece ser demasiado baixa em relação aos nós vizinhos, o que pode ser visto na secção transversal ao longo do principal canal (ver secção transversal longitudinal nos cenários abaixo)
 - b) Nós J9-J10 e nós J15-J16: o declive das secções do canal à jusante é, aparentemente, demasiado baixo e produz efeitos de refluxo que podem não se verificar na realidade. Estes dados devem ser esclarecidos com os agentes locais.

CENÁRIO 1: “A SITUAÇÃO ACTUAL”

O primeiro cenário modelado foi uma aplicação do SWMM5 a situação actual, ou seja, com vegetação e resíduos sólidos nos canais e canaletas, tal como se constatou durante o estudo de campo. A *Tabela 3-8* apresenta uma visão geral sobre o estado real das canaletas uma vez que estas também foram alvo de modelação neste cenário. Os resultados da modelação são apresentados na *Tabela 3-9* e *Figura 3.24*, que é uma visualização dos níveis máximos de água em secções de canais de águas pluviais (*condutas*) singulares. Na *Figura 3.24* mostra-se que o nível máximo de água é atingido em diversas secções ao longo do canal, visualizando assim as áreas onde ocorrem as enchentes. Os respectivos locais, onde ocorrem enchentes, são mostrados na *Figura 3.25*.

Tabela 3-8: Canaletas modeladas, seu diâmetro disponível hidráulicamente e seu estado real

No. do Ponto	No de Entrada	No de Saída	Largura da Canaleta	Altura livre da canaleta sem res. Solidos	Altura livre da canaleta com res. Solidos	% de canaleta bloqueada	% de canaleta livre
P1	J20	J19	2,5m	1,34m	90cm	25	75
p2			2,14m	1,20m	90cm	75	25
P3	J18	J17	2,10m	1,30m	90cm	50	50
P4	J14	J13	2,80m	1,95m	1,55m	25	75
P5	J12	J11	3,66m	1,70m	1,20m	20	80
P6	J8	J7	2,0m	1,31m	94cm	75	25
P7	J4	J3	2,0m	1,15m	70cm	0	100
P8	J1	MC2	2,0m	1,25m	65cm	50	50
P9			2,0m	1,25m	65cm	85	15
P10			2,5m	1,45m	2,05m	35	65
P11			3,60m	1,45m	1,0m	50	50
P12			3,60m	1,50m	1,0m	50	50
P13			1,13m	60cm	40cm	90	10
P14			3,07m	85cm	60cm	60	40
P15			2,40m	80cm	40cm	50	50
P16			3,0m	60cm	40cm	50	50
P17	J22	J21	3,0m	1,30m	90cm	70	30
P18			2,50m	1,00m	70cm	60	40
P19			2,0m	2,10m	2,0m	50	50
P20			2,0m	1,50m	1,00m	65	35
P21	J26	J25	2,0m	1,20m	60cm	50	50
P22			2,15m	1,35m	1,10m	65	35
*1	J16	J15	Ponte de travessia				
*2			Estado da canaleta				
*3			Estado do canal				
*4	J10	J9	Ponte de travessia				
*5			Estado da canaleta (Av. J. Chissano ate Av. A. de Lusaka)				
*6			Ponte de travessia				
*7	J6	J5	Ponte de travessia				
*8			Estado do canal				
*9			Ponte de travessia				

Tabela 3-9: Resumo da inundação do nó para o Cenário 1: “situação actual” e tempestade-tipo de 2 anos / 40 minutos (Tabela em Inglês)

```
*****
Node Flooding Summary
*****
```

Flooding refers to all water that overflows a node, whether it ponds or not.

Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Poned Depth Meters
J24	1.38	9.101	0 00:58	22.816	1.20
J23	0.53	7.018	0 00:59	8.130	1.90
J20	0.40	1.857	0 00:49	1.921	1.90
J1	1.80	2.653	0 01:00	7.056	2.70
J4	1.09	2.701	0 01:00	5.783	1.95
J10	0.67	2.905	0 01:00	4.426	2.00
J19	0.30	1.170	0 01:00	0.983	1.98
J13	0.22	1.174	0 01:00	0.732	2.00
J18	0.24	0.626	0 01:02	0.474	1.98

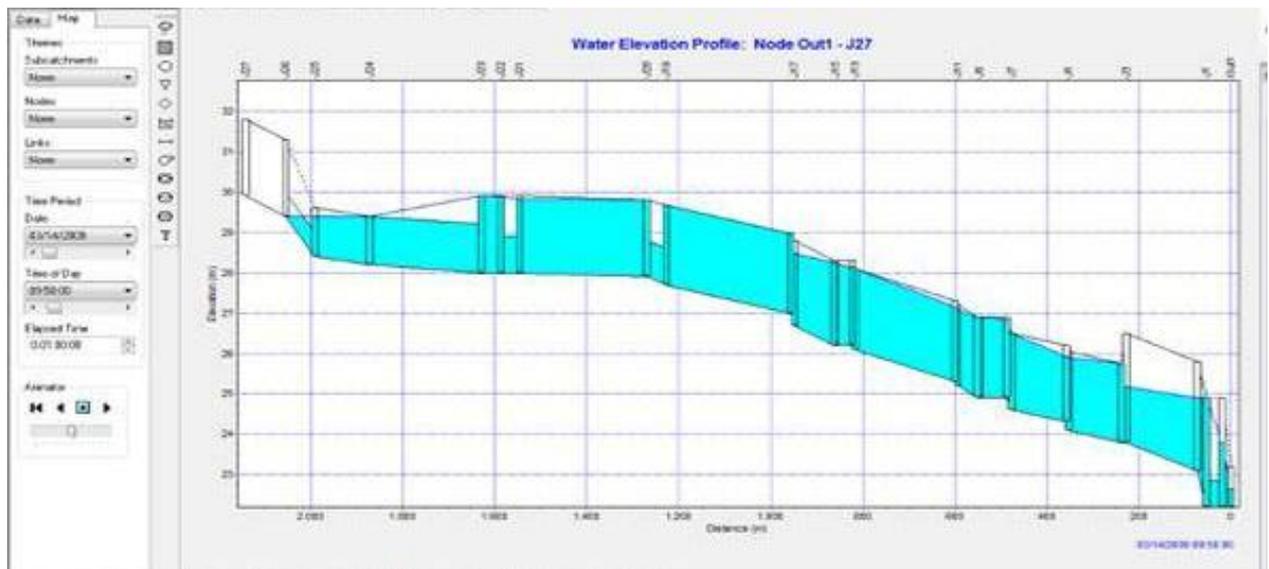


Figura 3-24: Secção longitudinal através de representação de modelo de canal de águas pluviais – cenário 1: “situação actual” mostrando elevações do nível de água.

Resultado: Os volumes e duração de enchentes são distribuídos de forma relativamente igual ao longo do canal. Comparativamente ao cenário “canais e canaletas limpos” os picos de descarga são transferidos do fim da sub-captação (J1) à montante para a captação (J24), resultando numa inundação distribuída de forma relativamente igual em toda a *sub-captação* (ver *Figura 3.27*: Enchente ocorreu, de entre outros, nos cruzamentos J1, J4, e J24).

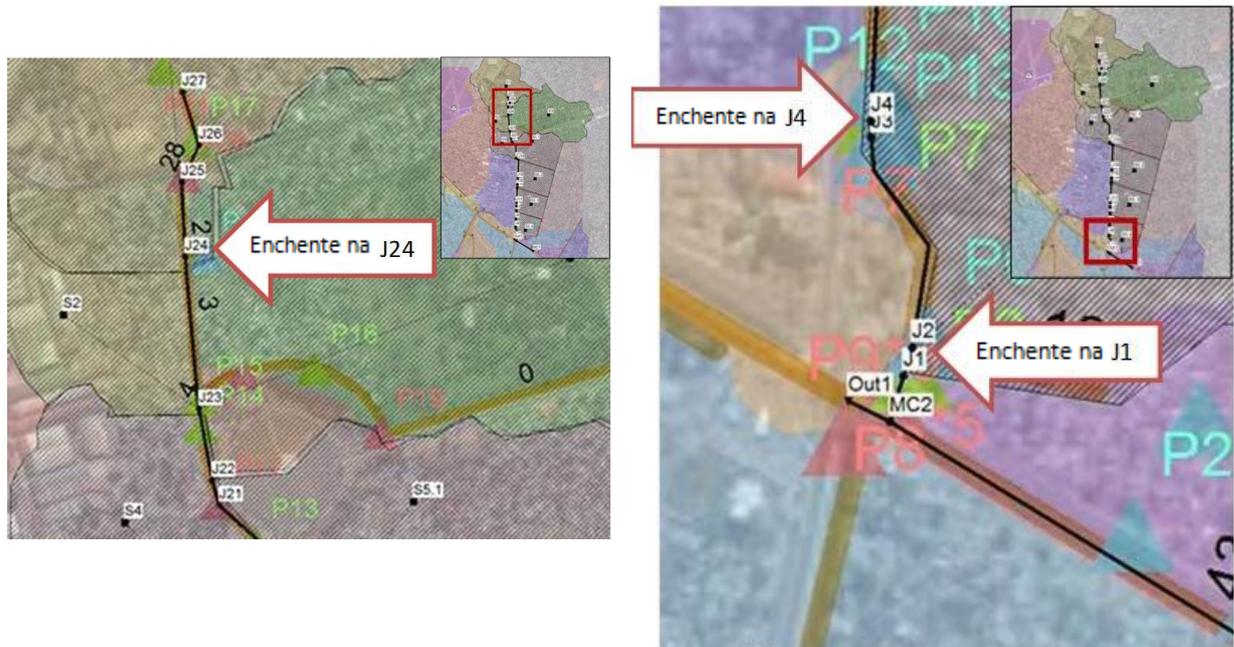


Figura 3-25: Registou-se enchentes, de entre outros, nos cruzamentos J1, J4, e J24 no cenário da situação actual

(ver mapa geral para referência espacial)

Os resultados da modelação correspondem aos resultados das entrevistas com os moradores da área da *sub-captação*. A *Figura 3.26* mostra que a enchente é distribuída de forma igual ao longo do principal canal da área de estudo. Por outro lado, também houve relatos de enchentes à uma certa distância do canal principal. Os grandes pontos azuis no círculo vermelho mostram que a enchente não se regista apenas devido ao bloqueio junto as canaletas, mas que provavelmente também se deva a falta de infra-estrutura de drenagem urbana (captação de água em pontos baixos).

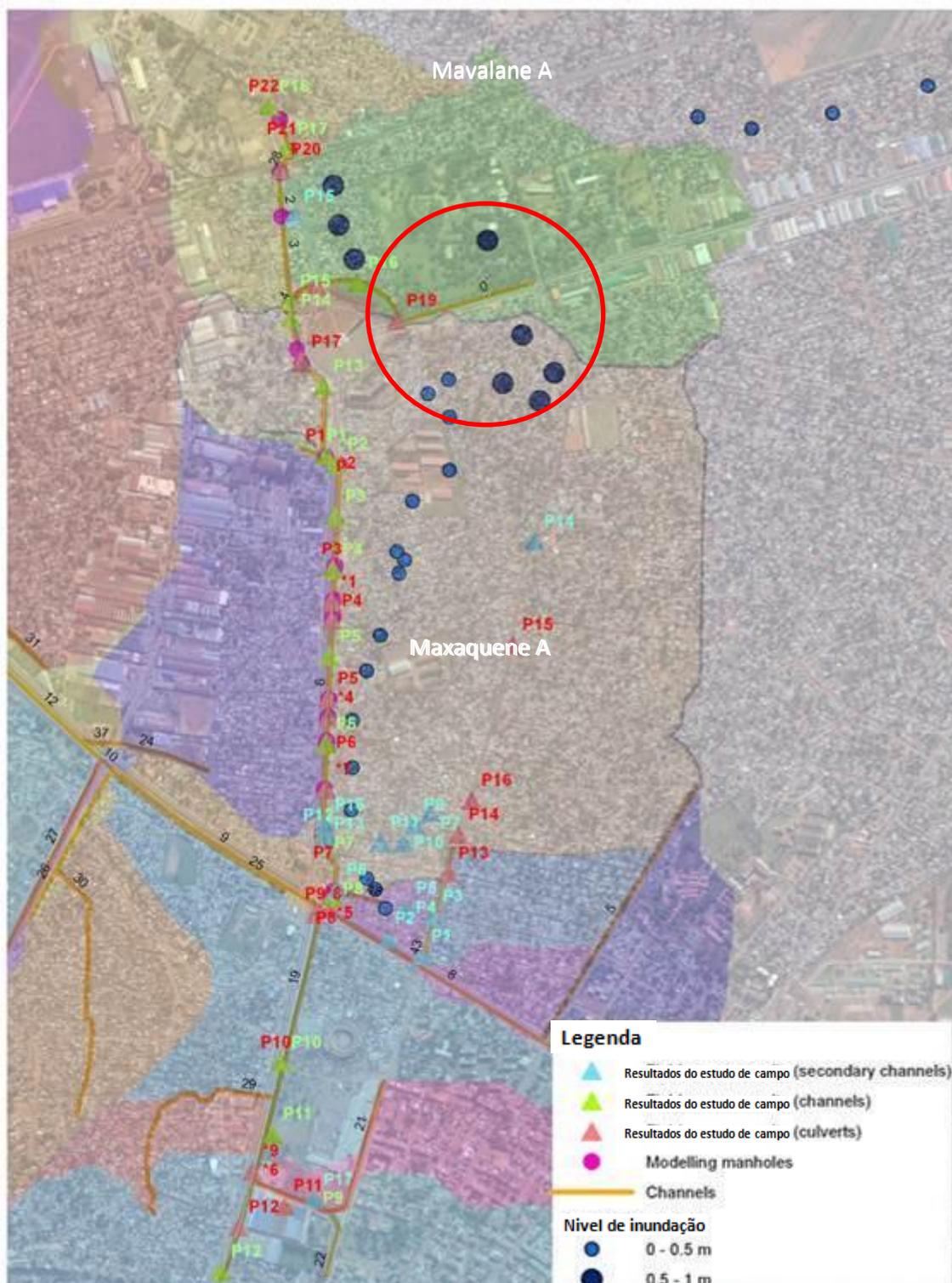


Figura 3-26: Resultados das entrevistas referentes a ocorrência de enchentes (pequenos pontos azuis 0-0.5m altura de inundação, grandes pontos azuis 0.5 -1.0 m)

Para entender os resultados do modelo, é necessário entender as características do modelo de SWMM5. O SWMM5 é um modelo robusto unidimensional de traçado de fluxo que pode lidar com uma fraca disponibilidade de dados e mostra em que nós há ocorrência de transbordos do sistema de drenagem. Não se trata de um modelo de inundação espacialmente distribuído que possa simular a profundidade de inundação e alastramento bidimensional da enchente. Ou seja, os resultados do estudo de campo poderiam ser utilizados para verificação (relativamente ao local de ocorrência de transbordos), mas não para uma validação detalhada (extensão e profundidade de inundação) dos resultados do modelo.

Terminologia utilizada no presente relatório:

“Inundação” significa que a água flui para fora do canal e submerge terra numa dada extensão e profundidade.

“Enchente” é definida como um transbordo de água de rios, drenos ou esgotos.

“Represamento” é um termo que se refere a acumulação indesejada de água, em particular após a ocorrência de uma inundação ou enchente. A água que transborda pode permanecer em depressões locais mesmo após o recuo das enchentes. Para modelar estes efeitos seria necessário um modelo bidimensional.

CENÁRIO 2: “CANALETAS DESOBRUÍDAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS MAS OS CANAIS CONTINUAM NA MESMA SITUAÇÃO”

Para simular o cenário com canais de águas pluviais desimpedidos, o coeficiente de rugosidade para a descarga nas condutas foi adaptado em conformidade. Os resultados da modelação são apresentados na *Tabela 3-10* e *Figura 3.27*.

Tabela 3-10: Resumo da enchente do nó para o cenário 2 2: “canaletas limpas” (Tabela em Inglês)

```

*****
Node Flooding Summary
*****

Flooding refers to all water that overflows a node, whether it ponds or not.
-----

```

Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Ponded Depth Meters
J24	1.26	9.105	0 00:58	21.821	1.20
J23	0.48	6.188	0 01:00	6.919	1.90
J20	0.40	1.457	0 01:00	1.635	1.90
J1	1.03	2.448	0 01:00	4.218	2.70
J4	0.73	1.220	0 00:55	2.220	1.95
J7	0.30	1.173	0 00:59	0.976	1.91
J10	0.59	1.693	0 01:05	2.714	2.00
J19	0.36	2.008	0 01:00	2.148	1.98
J13	0.31	1.798	0 01:00	1.300	2.00

Resultado: os resultados da modelação indicam que a simples retirada de resíduos sólidos das canaletas não iria ter um impacto substancial. O principal problema que leva as enchentes nas áreas à montante da captação de estudo é o bloqueio em parcialmente considerável dos canais de drenagem de águas pluviais com resíduos sólidos e vegetação, uma vez que este bloqueio leva a redução das secções transversais, por um lado, e a redução das velocidades dos fluxos, por outro. Conseguiu-se mostrar que se apenas forem limpas as canaletas e não os canais, então a enchente total não seria significativamente reduzida, apenas a duração da mesma seria reduzida e, conseqüentemente, também as quantidades de água que inundam a captação de estudo.

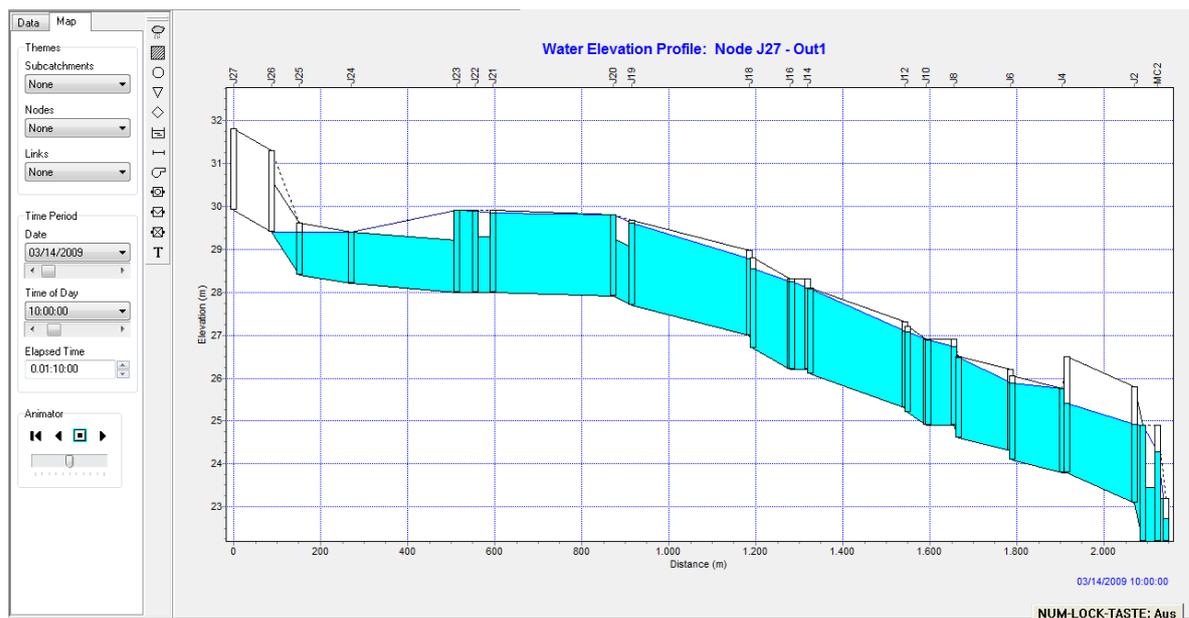


Figura 3-27: Na secção transversal longitudinal não existe uma clara diferença entre o Cenário 2: “Canaletas limpas” e o Cenário 1: “Situação actual” na altura do pico de enchente.

CENÁRIO 3: “CANAIIS E CANALETAS DESOBRUÍDOS DE VEGETAÇÃO E RESÍDUOS SÓLIDOS”

Para simular o cenário com canais de águas pluviais limpos, o *coeficiente de rugosidade* para a descarga nas condutas foi adaptado em conformidade. Os resultados da modelação são apresentados na *Tabela 3-11* e *Figura 3.28*.

Tabela 3-11: Resumo da enchente do nó para o cenário 3: “canais e canaletas limpos” (Tabela em Inglês)

```

*****
Node Flooding Summary
*****

Flooding refers to all water that overflows a node, whether it ponds or not.
-----

```

Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Pondered Depth Meters
J24	0.05	0.597	0 01:00	0.071	1.20
J1	0.39	19.966	0 00:58	12.859	2.70
J9	0.01	11.051	0 01:01	0.074	2.00
J10	0.09	15.852	0 00:49	2.105	2.00
J15	0.03	15.918	0 00:59	0.811	2.10
J16	0.19	14.954	0 01:00	3.452	2.10

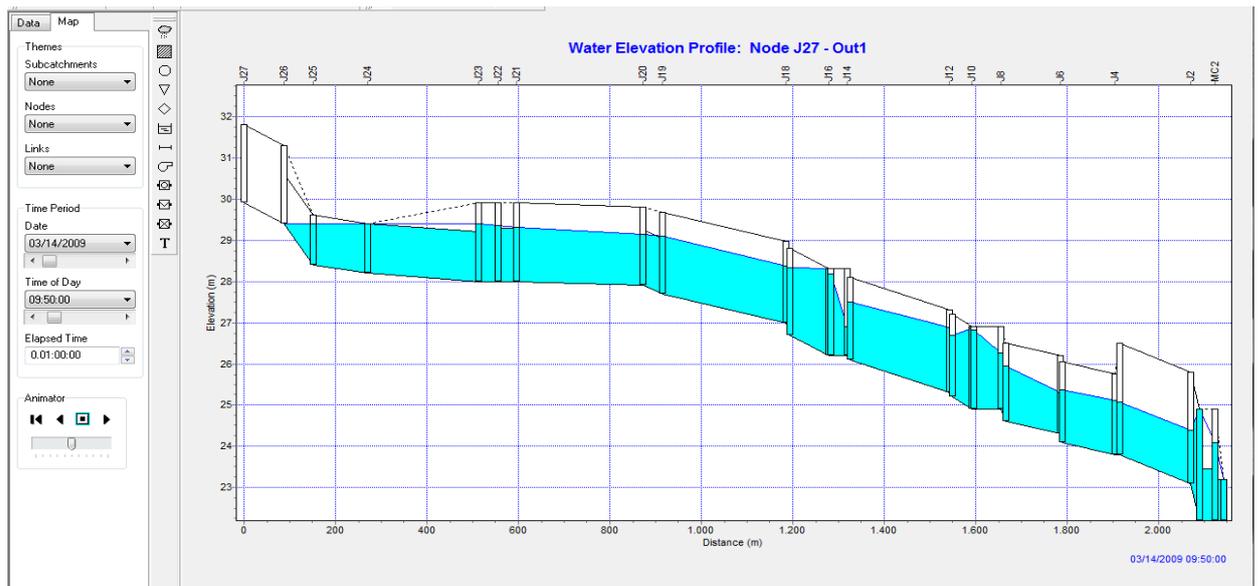


Figura 3-28: Secção longitudinal para o cenário 3: “canais E canaletas limpos” mostrando que regista-se enchente principalmente na saída da captação modelo (i.e., na extremidade direita da secção)

Resultado: A principal enchente regista-se na J1 (canaleta para o principal canal na Av. J. Chissano). Pôde ser demonstrado que, se a vegetação e resíduos sólidos do principal canal de drenagem forem limpos, a capacidade de descarga do canal de águas pluviais aumenta e a enchente se concentra mais em direcção a saída da *sub-captção* porque o escoamento chega a parte à jusante mais rápido e com maiores amplitudes. Devido ao aqueduto rectangular na saída da *sub-captção*, irão registar-se enchentes, uma vez que a capacidade da canaletas é demasiado pequena para descarregar todo o escoamento de águas pluviais. Esta canaleta poderia certamente ser confirmada como um ponto de estrangulamento hidráulico dentro da *sub-captção*.

CENÁRIO 4: “ABERTURA/ALARGAMENTO DE CANALETAS”

Foram calculados dois cenários diferentes, um com uma extensão do diâmetro de canaletas limpa de cerca de 50% e outra com uma extensão de cerca de 100%.

Cenário 4a: Alargamento das canaletas em “50% (3 cisternas (barrels) ao invés de 2 em cada canaletas)”

Tal como no Cenário 1, mas com 3 cisternas ao invés de 2 em cada canaletas aumentando a área da canaletas em 50%. Note-se que estes cálculos foram feitos sob a hipótese de que foram retirados os resíduos sólidos das canaletas e que a sua capacidade hidráulica está disponível.

Resultado: Foi demonstrado que não se regista qualquer enchente no nó J1 de saída da *sub-captção* (canaleta do principal canal da Av. J. Chissano), se o diâmetro livre dos aquedutos rectangulares for aumentado em 50%. Ainda registam-se enchentes nos nós J9 a J16. Presume-se que o ultimo caso se deve ao facto de a pesquisa GPS nas canaletas ser inexacta devido a restrições no acesso (ver também *Tabela 3-7*). Infelizmente os níveis de soleiras medidas no local durante o estudo de campo não foram reconfirmados novamente no local após a modelação.

Tabela 3-12: Resumo da enchente do nó para o Cenário 4a: “50% de alargamento das canaletas” (Tabela em Inglês)

```

*****
Node Flooding Summary
*****

Flooding refers to all water that overflows a node, whether it ponds or not.
-----

```

Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Poned Depth Meters
J9	0.01	13.159	0 00:52	0.069	2.00
J10	0.08	17.485	0 01:00	1.822	2.00
J11	0.01	11.013	0 00:59	0.035	2.00
J15	0.05	17.677	0 01:01	1.222	2.10
J16	0.22	15.127	0 01:01	4.445	2.10

Cenário 4b: “Alargamento a 100% de canaletas (com 4 cisternas ao invés de 2 em cada canaletas)”

Tal como o cenário 1, mas com 4 cisternas ao invés de 2 em cada canaletas. Assim, o diâmetro livre iria aumentar em cerca de 100%. Os resultado são apresentados na *Tabela 3-13*. Note-se que estes cálculos foram feitos sob a hipótese de que foram retirados os resíduos sólidos das canaletas e que a sua capacidade hidráulica está disponível.

Tabela 3-13: *Resumo da enchente do nó para o cenário “100% de alargamento das canaletas” (Tabela em Inglês)*

```

*****
Node Flooding Summary
*****

Flooding refers to all water that overflows a node, whether it ponds or not.
-----

```

Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Poned Depth Meters
J9	0.01	7.253	0 01:12	0.018	2.00
J10	0.08	14.282	0 00:56	1.389	2.00
J11	0.01	7.567	0 00:55	0.014	2.00
J15	0.04	16.712	0 00:59	0.724	2.10
J16	0.20	14.937	0 01:01	3.927	2.10

Resultado: Foi demonstrado que não se regista qualquer enchente no nó *J1* de saída da *sub-captação* (canaleta do principal canal da Av. J. Chissano), se o diâmetro livre dos aquedutos rectangulares for aumentado em 100%. No entanto, a redução da enchente nos nós à montante J9 a J 16 foi insignificante. Presume-se novamente que o último caso se deve ao facto de a pesquisa GPS nas canaletas nas ser inexacta devido a restrições no acesso (ver também Capítulo 3.5.4, *Tabela 3-7*).

Com base nos dois cenários modelados com um aumento da capacidade da canaletas, pode-se concluir que a remoção de resíduos sólidos das canaletas já iria melhorar a situação consideravelmente. No que se refere a até que ponto as secções transversais de canaletas individuais teriam que ser alargadas através de canaletas maiores ou em maior número teria que ser calculado com base numa abordagem holística considerando o sistema de drenagem geral desde as captações acima as suas saídas de modo a melhorar o desempenho geral do sistema também considerando o SuDS. É importante resolver a situação geral considerando a redução dos fluxos de enchentes através do SuDS se possível de um ponto de vista político/de apropriação e sem apenas reduzir as enchentes num único local e em resultado disso aumentar a incidência de enchentes mais à jusante. Para que se possa tornar isto numa directriz política referente ao SuDS seria necessário, em primeiro lugar, juntamente com uma estimativa orçamental sugerida e/ou nível de enchente aceite (e para que período de retorno) estabelecer o nível e, desse modo, o custo da resolução do problema de enchentes. Seria essencial planificar e construir o sistema de drenagem melhorado desta forma holística uma vez que apenas medidas individuais ou a implementação parcial não teriam o efeito positivo global esperado. Para estes cálculos detalhados seriam necessárias mais medições no terreno para além do que foi recolhido no actual estudo (ex.: localização, tipo, dimensão de possíveis SuDS, dimensões mais detalhadas do canal e da estrutura hidráulica, etc.). Seria igualmente importante considerar as medidas construtivas que já estão previstas ou em fase de implementação das quais não está disponível a informação para o presente estudo.

CENÁRIO 5: “AUMENTO DA DESCARGA NO CANAL RECEPTOR DE ÁGUAS PLUVIAIS

Foi calculado um cenário com 4 cisternas ao invés de duas em cada canaletas, mas com uma descarga consideravelmente maior no canal receptor (Av. J. Chissano) de 30 m³/s em vez de apenas 4 m³/s como foi presumido nos cenários anteriores.

Resultado: Registam-se novamente enchentes no nó J1 de saída da sub-captação devido ao elevado nível de água no canal receptor, que, por sua vez, é causado pelo atraso da canaleta à jusante a no canal receptor, que agora constitui o ponto de estrangulamento hidráulico altura.

Conclusão: O alargamento da canaletas no nó J1 de saída da sub-captação apenas faz sentido quando as seguintes canaletas do principal canal de águas pluviais ao longo da Av. Joaquim Chissano também forem alargados.

CENÁRIO 6: “CENÁRIO CLIMÁTICO COM UMA MAIOR INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO”

O mesmo cenário apresentado no Cenário 3 foi modelado considerando uma maior intensidade pluviométrica em passos de 10% steps (comparar *Tabela 3-4*), simulando um possível efeito de mudanças climáticas. A hipótese de que uma maior intensidade pluviométrica de 10%-50% foi feita apenas para fins de modelação, com base em considerações práticas e na ausência de dados sólidos. Um aumento da intensidade pluviométrica em 10-20% pode ser considerado um cenário mais negativo realístico. Em referência ao Relatório do INGC sobre Mudanças Climáticas (INGC 2009) apenas deve-se esperar um ligeiro aumento das quantidades de precipitação anual de acordo com a maioria dos Modelos Climáticos Globais (GCM), exceptuando a previsão calculada pelo CSIRO GCM. Não obstante, visto que não apenas as quantidades totais de precipitação são relevantes para os problemas de drenagem urbana, mas sim a intensidade dos eventos pluviométricos dentro de um certo período, deu-se mais atenção a um aumento de 20% de intensidade pluviométrica para uma tempestade-tipo de dois anos, dado que a variabilidade pluviométrica também continuará elevada no Sul de Moçambique futuramente e o facto de se esperar que as mudanças climáticas no futuro levem a um aumento da intensidade dos ciclones tropicais. Poderá igualmente registar-se um aumento da sua frequência de ocorrência (INGC 2009). A tempestade-tipo de 40 min por dois anos, conforme o publicado pela DNA (2006) é considerada referência internacional e, assim, reconhecida como sendo o evento de tempestade-tipo relevante para a modelação/dimensionamento da infra-estrutura de drenagem urbana de Maputo.

Tabela 3-14: *Resumo da enchente do nó para um aumento em 20% de intensidade pluviométrica (Tabela em Inglês)*

```

*****
Node Flooding Summary
*****

Flooding refers to all water that overflows a node, whether it ponds or not.
-----

```

Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Time of Max Occurrence days hr:min	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Poned Depth Meters
J24	0.31	8.220	0 00:56	5.339	1.20
J1	0.49	20.568	0 00:56	16.690	2.70
J9	0.01	12.919	0 00:52	0.134	2.00
J10	0.12	16.016	0 00:52	2.690	2.00
J15	0.07	17.183	0 01:00	1.592	2.10
J16	0.27	16.213	0 00:53	5.114	2.10

Resultado: Para um aumento de 20% de intensidade pluviométrica a principal enchente em J1, mas também nos outros cruzamentos calculados, sobe em cerca de 20 % (i.e., de 12.859 m³ para 16.690 m³).

Este resultado pode parecer bastante óbvio e directo. De facto é verdade devido ao facto de

1. A sub-captação modelada ser relativamente pequena
2. A capacidade de infiltração dentro da sub-captação ser muito baixa e quase todas as águas pluviais durante a tempestade-tipo contribuir para o escoamento de superfície e subsequentemente para a descarga do canal.

O escoamento maior calculado em 20% em função do aumento de intensidade pluviométrica em 20% pode ser atribuído essencialmente a 2 factos:

1. A modelação de problemas de drenagem urbana concentrada em eventos extremos que causam um rápido escoamento em função de eventos de elevada intensidade pluviométrica. Assim, por um lado, efeitos de pequena escala como a interceptação e micro retenção, e por outro lado, processos mais lentos como a infiltração e evapotranspiração desempenham um papel pequeno na modelação do escoamento de águas pluviais após eventos extremos. Deste modo, um aumento da intensidade pluviométrica vai, na maioria dos casos, resultar numa reacção equivalente na resposta de escoamento de águas pluviais, não sendo incomuns a existência de relações lineares.
2. Devido as curtas distâncias do ponto onde cai de facto a gota de chuva ao ponto onde esta entra no próximo canal de drenagem de águas pluviais, os efeitos no trajecto podem ser ignorados, em particular ao modelar uma captação da dimensão da que aqui foi modelada.

Respectivamente, pode-se considerar que o efeito calculado de qualquer cenário de mudanças climáticas estará em relação muito directa com o aumento (ou redução, se aplicável) previsto da intensidade pluviométrica. Aumentos em +10%, +30%, +40% e +50% de intensidade pluviométrica comparativamente ao Cenário 3 foram modelados de modo a confirmar esta

hipótese e demonstrar o comportamento do modelo sob tais condições. A *Tabela 3-15* apresenta os resultados destes cenários comparados aos da tempestade-tipo padrão. Todas as outras características são as mesmas do Cenário 3.

Pode-se supor que o efeito calculado seja semelhante para todos os cenários modelados, desde que outras condições de fronteiras relevantes e características do modelo permaneçam inalteradas.

Tabela 3-15: Comparação entre diferentes aumentos de intensidade pluviométrica em relação ao Cenário 3

Cruzamento / No	Volumes de Enchente					
	Cenário 3	+10%	+20%	+30%	+40%	+50%
J24	0	2.07	5.34	9.86	12.2	17.97
		100%	258%	476%	589%	868%
J1	12.859	14.06	16.69	18.65	21.13	22.82
		109%	130%	145%	164%	177%
J9	0	0.07	0.13	0.19	0.13	0.18
		100%	186%	271%	186%	257%
J10	2.1	3.03	2.69	4.27	3.84	5.49
		144%	128%	203%	183%	261%
J15	0.81	1.13	1.592	1.7	1.41	1.91
		140%	197%	210%	174%	236%
J16	3.45	4.98	5.11	5.46	6.03	7.04
		144%	148%	158%	175%	204%
Volume Total de Enchente [*1000m³]	19.219	25.34	31.552	40.13	44.74	55.41
	1	132%	164%	209%	233%	288%
Diferença de volume de enchente entre Cenários		6.12	6.21	8.58	4.61	10.67
		32%	64%	109%	133%	188%

CENÁRIO 7: “MEDIDAS DE SUDS IMPLEMENTADAS EM MAPUTO”

Os métodos de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável são denominados SuDS. Dado que a aplicação de SuDS na área de estudo é considerada uma possibilidade para reduzir o problema de enchentes urbanas, decidiu-se incluir alguns possíveis cenários no exercício de modelação.

Para a aplicação de um SuDS adequado em Maputo, preferência deverá ser dada a medidas locais. Julgava-se que as medidas descentralizadas, tais como as grandes bacias de retenção, não são adequadas para a situação real de Maputo. Portanto, foram considerados como medidas úteis para a sub-captação a piscina de retenção de águas pluviais, trincheiras de infiltração e pavimento permeável, sendo por isso considerados como cenário no modelo.

O objectivo da aplicação do SuDS na área de estudo é a realização de medidas adicionais contra as enchentes e a redução do fardo sofrido pelo sistema de drenagem à jusante da captação. As medidas devem ser escolhidas de modo que elas possam atenuar o fluxo de águas pluviais, aumentar a qualidade do escoamento das mesmas e proporcionar a recarga de água subterrânea em boa qualidade.

Visto que os SuDS são aplicados geralmente em países industrializados, as medidas escolhidas deveriam ser adaptadas as condições locais de Maputo, em particular se considerarmos que a Cidade de Maputo não tem qualquer experiência na área de sistemas de drenagem urbana sustentável.

A área de estudo Maxaquene A e Mavalane A é uma zona outrora pantanosa e possui um elevado lençol freático (Palalane, 2007). Isto deve ser tido em conta ao se escolher possíveis medidas de controlo, em particular pelo facto de a infiltração de águas pluviais para a recarga

das águas subterrâneas poderá não ser aplicável nesta área. No entanto, foram igualmente analisados sistemas de recarga de águas subterrâneas por 2 principais razões:

1. Porque durante o processo de consultas de intervenientes ficou claro que em alguns bairros de Maputo se tem registado uma redução dos níveis de águas subterrâneas nos últimos anos devido ao uso excessivo dos recursos de água subterrânea. Medidas de recarga de águas subterrâneas podem ser um meio adequado para travar este desenvolvimento negativo nestas áreas.
2. Para mostrar a sua implementação no modelo em princípio.

Para a escolha final de medidas é obrigatório considerar de forma detalhada as interações com o sistema de águas subterrâneas. Tal como foi referido acima e discutido com os intervenientes, as seguintes medidas foram consideradas os sistemas centralizados mais adequados e, como tal, foram considerados no exercício de modelação:

- Piscinas de armazenamento
- Trincheiras de infiltração
- Pavimento permeável

Piscinas de armazenamento

Podem ser criadas piscinas de águas pluviais através da escavação de sinks ou da construção de represas. Contrariamente as bacias de retenção de águas pluviais, as piscinas de armazenamento não se devem manter sempre completamente vazias para que possam armazenar um volume máximo de águas pluviais. Ao invés disso, utiliza-se uma piscina de armazenamento não só para a retenção de águas pluviais, como também para melhorar a qualidade da água, protecção do canal, protecção contra extravasamento e enchentes extremas. Para além destes outros efeitos positivos podem ser a possibilidade de uso recreativo da piscina para fornecer água para o combate a incêndios. Poderão ocorrer problemas através da reprodução de mosquitos e depósito de lixo nas piscinas e também problemas causados pela necessidade de espaço que é bastante considerável. Em qualquer caso, a nem bacia de retenção e nem a piscina de armazenamento podem ser implementados sem um envolvimento muito abrangente da população local.

As piscinas devem ser construídas de modo que possam captar o escoamento nos níveis máximos e com o mínimo de custos de escavação (AMEC, 2001, CIRIA 2007). Uma piscina de armazenamento deve estar localizada num ponto adequado próximo da saída da captação de modo a que possa receber a maior parte do escoamento da captação. Na área de estudo, uma piscina poderia ficar teoricamente localizada na parte Sul da área de estudo próximo da descarga no ponto mais baixo da área de estudo, garantindo assim um mínimo de escavação e custo de construção e permitindo uma ligação fácil com os canais de drenagem existentes. A possível localização da piscina é ilustrada na *Figura 3.29*.

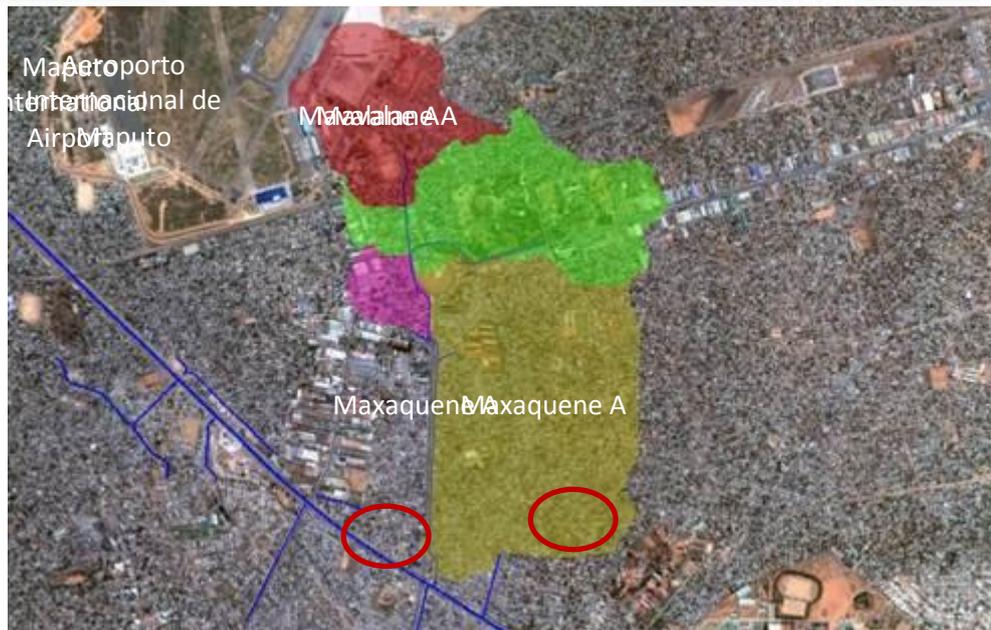


Figura 3-29: Possível localização da bacia de retenção de águas pluviais. As Sub-captações conforme a modelação em SWMM são mostradas em cores diferentes.

Uma vez que a área sugerida já está a ser densamente povoada, é muito improvável que o terreno necessário possa ser disponibilizado para uma medida tão radical. O objectivo do exercício de modelação neste caso era calcular e demonstrar que dimensão de bacia de retenção seria necessária em caso de nenhuma outra medida se revelar suficiente. Presumiu-se que a bacia de retenção estivesse localizada próximo da saída da área de estudo para receber as águas pluviais que poderão ser desviadas à montante do nó mais crítico J4.

Considerando a necessidade de espaço e os custos de construção, o dimensionamento da bacia deve ser considerado um exercício de optimização. Desse modo, para dar o melhor resultado para a bacia de retenção foi utilizado um processo iterativo, resultando numa profundidade ideal de 2.5 m. A área necessária para uma bacia de retenção desta profundidade foi calculada em 30,000 m². Após fazer a simulação, constatou-se que esta bacia de retenção poderia prevenir as enchentes no nó J4 e que pode armazenar 66,905 m³ de volume de escoamento de águas pluviais.

A viabilidade técnica (condições geotécnicas) e administrativa (posse) da construção de uma bacia de retenção no local referido não foi investigada. Os possíveis cenários de descarga, períodos de esvaziamento, a localização e capacidade de um canal/esgoto de descarga necessário, a possibilidade de infiltrar água da bacia e as respectivas implicações sobre a situação de águas subterrâneas podem ser definidos apenas mediante a realização de mais estudos topográficos que teriam de responder a questões específicas relevantes a construção de uma bacia de retenção.

Em qualquer caso, pode-se considerar altamente improvável que uma medida desta natureza possa ser implementada numa zona tão densamente povoada como Maxaquene A, uma vez que seria necessário um enorme reassentamento de habitantes para além dos consideráveis custos de construção, que, por sua vez, dependem da dimensão exacta da bacia de retenção.

Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração não podem apenas servir para reduzir a taxa e volume de escoamento de superfície, elas também podem contribuir para a necessária recarga das águas subterrâneas (AMEC, 2001, CIRIA 2007). Devem ser implementadas próximo de zonas impermeáveis como a parte traseira das estradas. As trincheiras de infiltração realizam três principais funções: infiltração, armazenamento em depressão e fluxo de água ao longo da trincheira sendo que a capacidade de infiltração da trincheira depende essencialmente das propriedades do subsolo. Um plano esquemático de uma trincheira de infiltração é mostrado na *Figura 3.30*.

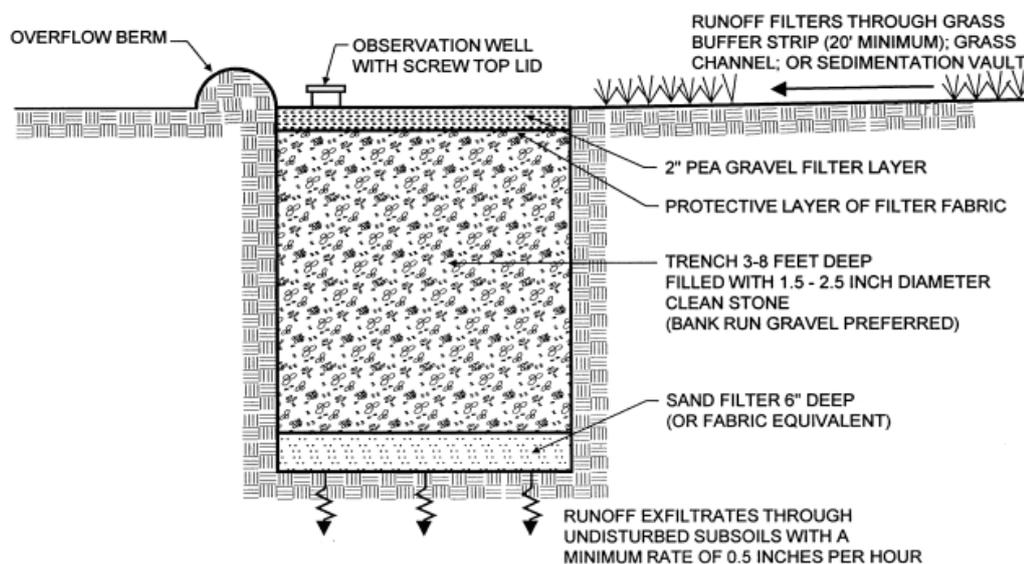


Figura 3-30: Plano esquemático de uma trincheira de infiltração (AMEC, 2001) (Figura em Inglês)

Dado que as trincheiras de infiltração estão em risco de ficarem obstruídas, a instalação de um sistema de pré-tratamento é fortemente recomendada. Os sistemas de pré-tratamento podem ser ou faixas de filtro com vegetação ou faixas de protecção com vegetação em torno de toda a trincheira (CIRIA, 2007). Na área de estudo as trincheiras de infiltração podem ser implementadas ao longo das bermas das estradas. Estas possíveis localizações são indicadas na *Figura 3.31*. A extensão/largura destas trincheiras pode ser adaptada variavelmente ao espaço disponível, sendo que a sua redução iria reduzir claramente o seu benefício. No geral as trincheiras são posicionadas de tal forma que evite ao máximo a remoção ou bloqueamento de outras estruturas, árvores e afins.

Note-se que as linhas vermelhas apresentadas na *Figura 3.31* apenas mostram posições possíveis de trincheiras de infiltração. Estas posições não foram investigadas com vista a real implementação desta medida, uma vez que isto apenas pode ser avaliado em estreita colaboração e consulta com as autoridades e residentes locais – um processo ao qual se deveria dedicar tempo suficiente. Atente que as áreas modeladas de por ex.: 5 ha num total de 67 ha da sub-captação 5 representam uma percentagem considerável (~7%) da área respectiva.

As dimensões exactas devem ser baseadas respectivamente nas condições geotérmicas, disponibilidade de espaço, prioridades políticas e potencial de retenção desejado.

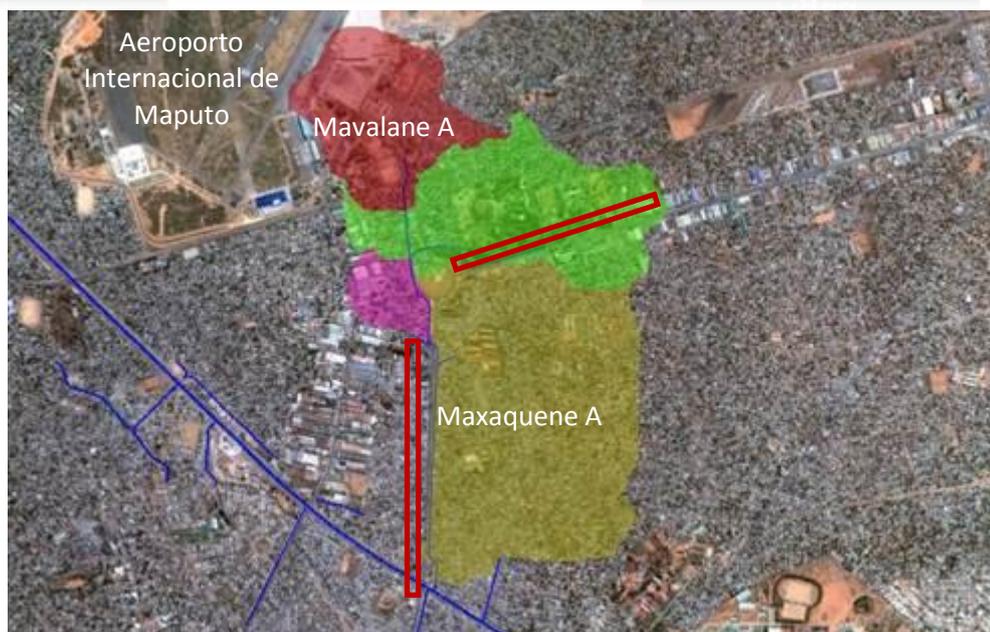


Figura 3-31: Possíveis locais para a fixação de trincheiras de infiltração (linhas vermelhas)

Para uma infiltração efectiva, o solo deve ser apropriado para infiltrar o escoamento. Assim, o parâmetro mais importante a considerar em primeiro lugar é o tipo de solo (CIRIA, 2007) e a sua capacidade de infiltração. Palalane (2010) mediu as *taxas de infiltração* em três diferentes pontos da mesma área de estudo e concluiu que a *taxa máxima de infiltração* naquela área é de cerca de 66mm/h sendo a taxa mínima de 30 mm/h. A constante de decomposição foi calculada em 3mm/h, com um tempo de secagem de 7 dias.

Detalhes das trincheiras modeladas:

Na área de estudo, foram modeladas trincheiras de infiltração com uma área total de 6 ha, 1 ha de um total de 67,2 ha na *sub-captção* S3. 1 ha de um total de 11.1 ha em S4, e 5 ha de um total de 67 ha em S5. Os parâmetros escolhidos são: armazenamento em depressão 360 mm, taxas de infiltração máxima 66 mm/h e mínima 30mm/h (extraído do estudo de Palalane, 2010).

As trincheiras foram modeladas como uma área de *sub-captção*, 100 % permeável dentro das *sub-captações* S3, S4 e S5. O armazenamento em depressão da trincheira de infiltração foi fixado em 360 mm como profundidade efectiva de volume de poros da trincheira. A duração da simulação foi de 14 horas. O coeficiente de Manning foi fixado em 0.24 para todas as trincheiras (McCuen et al. 1996). As propriedades gerais das trincheiras são apresentadas na *Tabela 3-16*.

Tabela 3-16: Resumo de trincheiras de infiltração

Trincheira de Infiltração	Escoamento total da sub-captção de drenagem (mm)	Infiltração total (mm)	Profundidade total do escoamento de superfície da trincheira de infiltração (mm)
IT_1	2384	427	1857
IT_2	412	412	0
IT_3	974	427	392

Após a modelação das 3 trincheiras de infiltração, verificou-se que a taxa de enchente diminuiu em 70%. Uma comparação entre as taxas de enchente antes e depois da implementação das trincheiras de infiltração sob condições actuais mas limpas é apresentada na *Tabela 3-17*.

Tabela 3-17: Comparação de taxas de enchente no cruzamento J7 (próximo da saída da captação) sob as condições actuais com e sem trincheira de infiltração

Nó	Taxa de enchente (m ³ /s)	
	Antes da trincheira de infiltração	Depois da trincheira de infiltração
J7	31.48	8.57

O impacto considerável das trincheiras de infiltração nos resultados da modelação torna-as numa possibilidade interessante para melhorar a situação de drenagem urbana nos bairros investigados. Com um custo estimado em USD 80 /m² elas representam uma alternativa acessível a grandes estruturas de retenção onde devem ser armazenadas grandes quantidades de água.

As trincheiras de infiltração teriam um potencial efeito nos níveis de águas subterrâneas. Embora a recarga das águas subterrâneas seja geralmente considerado um efeito positivo, ao nível local também foram considerados possíveis efeitos negativos. Há relatos de que os níveis de água subterrânea na área de estudo já são baixos, de modo de a capacidade de infiltração e a condutividade hidráulica do subsolo terão que ser quantificadas, assim como terão que ser investigadas as possíveis consequências da subida dos níveis das águas subterrâneas (i.e., quando os níveis chegam ao fundo das latrinas de fossa e fossas sépticas daquela zona) sobre as condições de higiene e sobre a integridade estrutural dos edifícios adjacentes.

Para além do espaço necessário para as trincheiras de infiltração será necessário que se tomem decisões políticas no que diz respeito a sua localização e dimensão, incluindo a necessidade resultante de intervenções ao nível paisagístico, de infra-estruturas e de habitação/reassentamento. Estes aspectos devem ser alvo de decisão com base nos requisitos técnicos e políticos acima expostos (efeito realizável vs. dimensão).

Pavimento Permeável

Os pavimentos permeáveis aceitam a água que cai directamente na sua superfície (AMEC, 2001). Os sistemas de pavimentos permeáveis são utilizados em locais onde as camadas de subsolo têm uma taxa de infiltração que se situa entre cerca de 13 a 75 mm/h e devem ser apropriados para suportar o esvaziamento do escoamento num período de 24-48 horas. O declive da área não deve ultrapassar os 2 % (AMEC, 2001, CIRIA 2007). Um plano esquemático de um pavimento permeável é apresentado na *Figura 3.32*.

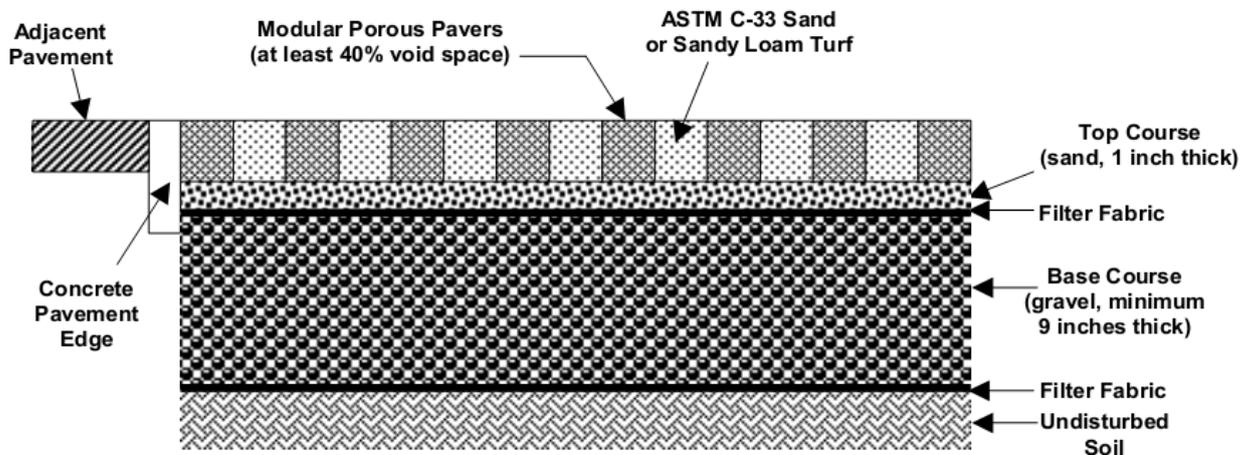


Figura 3-32: Pavimento permeável (AMEC, 2001). (Figura em Inglês)

As propriedades gerais dos três SuDS acima descritos são resumidas na Tabela 3-18.

Tabela 3-18: Matriz dos objetivos do SuDS seleccionados (adaptado de; AMEC, 2001; CIRIA, 2007).

Grupo de SuDS	Área máxima de captação recomendada (ha)	Tratamento do escoamento	Recarga de águas subterrâneas	Adequação ao clima tropical	Manutenção	Custo
Ponds	ca. 10	✓	x	✓	Medium	Medium
Infiltration Trenches	<3	✓	✓	✓	Low	Low
Pervious pavement		✓	✓	✓	Medium	Medium

Para a modelação do pavimento permeável foi discretizada uma nova sub-captção em S4. Estimou-se que a área para o pavimento permeável poderia ser 20% da área total da sub-captção, o que resulta em 2 ha. Visto que a área permeável é considerada parte da sub-captção S4 na qual esta foi colocada, não se deverá registar precipitação na sub-captção que representa o pavimento permeável. O pavimento permeável foi modelado com uma profundidade de armazenamento de 360 mm (abaixo desta profundidade a água é infiltrada). A percentagem de impermeabilidade foi fixada em 35% com consideração da impermeabilidade anterior a implementação do pavimento permeável. Os resultados são resumidos na Tabela 3-19. Para o modelo utilizado a exactidão não tem utilidade para definir o pavimento permeável em detalhes mais geométricos.

Foi demonstrado que, se a área permeável for implementada apenas numa área de 2 ha com uma área de drenagem contribuinte de 10 ha, apenas uma pequena parte das águas pluviais captadas durante o evento pluviométrico pode infiltrar-se nas actuais condições do subsolo. A descarga de águas pluviais nos canais abertos pode ser reduzida apenas em 10% ou 3 m³/s.

Tabela 3-19: Resumo do escoamento do pavimento permeável

Pavimento permeável	Área de pavimento permeável (ha)	Sub-captção de drenagem contribuinte	Área de sub-captção de drenagem contribuinte	Escoamento total da sub-captção de drenagem (mm)	Infiltração total (mm)
S4_Pervious	2	S4	10	184.27	119.7

Embora não sendo adequado como solução isolada, o recurso a pavimentos permeáveis pode ser um valioso complemento a outras medidas, em particular considerando que a lenta infiltração em grandes áreas (comparativamente a infiltração linear das trincheiras de infiltração) representa uma forma mais natural de recarga de águas subterrâneas, simulando condições naturais como a infiltração registada em áreas não pavimentadas.

Controlo de entrada e fonte

Os elementos de controlo de entrada influenciam o escoamento quer na sua fonte quer junto dela (Butler e Davies, 2010). A captura da água da chuva através de um sistema de captura localizado no telhado é uma das medidas para reduzir o escoamento.

Exemplo de Cálculo:

Se forem utilizadas cisternas de captura de águas pluviais com uma capacidade média de 100 litros de volume para cada telhado com 50 m² elas podem capturar 2 mm de chuva do telhado antes que as cisternas se encham. Comparativamente a tempestade-tipo de dois anos com uma precipitação de aproximadamente 40 mm com a duração de in 40 minutos, a quantidade de águas pluviais capturada deve ser considerada irrelevante no que concerne a geração de escoamento de águas pluviais. Para além disso, deve ter em conta que estes tanques de captura de água da chuva raramente estão completamente vazios, o que é necessário para que sejam realmente eficazes.

As alternativas que teriam um efeito relevante na redução do pico de escoamento e volume são *rooftop ponding* e os telhados verdes. Estes métodos podem ser implementados no sistema de modelação, mas para o caso de Maputo ainda não foram considerados, também porque estes sistemas são bastante dispendiosos e não podem ser considerados realisticamente para uma implementação em Maputo nos próximos anos.

Roofing ponding

As águas pluviais podem ser armazenadas em tectos planos através do uso de limitadores de fluxo (Butler e Davies, 2010). O *rooftop ponding* é uma solução eficaz para reduzir o pico de escoamento que segue para o esgoto ou sistema de drenagem. Por outro lado, não se recomenda por forma a controlar concentrações de poluentes (Maskell e Sherriff, 1992).

Telhados Verdes

Telhados cobertos com uma camada espessa de terra com plantas são denominados telhados verdes. O objectivo é reduzir o volume e taxa de escoamento logo que este é gerado (CIRIA, 2010).

Resumidamente, o controlo da entrada e da fonte são soluções interessantes do ponto de vista de gestão de recursos hídricos, mas o seu efeito quantitativo sobre a drenagem de águas pluviais é insignificante considerando a enorme intensidade pluviométrica comum em Maputo.

3.5.5 Conclusões da modelação

Com base nos resultados de modelação, uma solução técnica que iria trazer resultados imediatos seria o alargamento dos perfis das canaletas ao longo dos canais uma vez que estes constituem os actuais pontos de estrangulamento hidráulicos em diferentes cenários. De qualquer forma, o alargamento das canaletas apenas faria sentido se as canaletas à jusante no principal canal da Av. J. Chissano também fossem alargadas caso contrário poderiam registar-se nesses pontos trasbordos e enchentes.

No geral, é fundamental avaliar minuciosamente o sistema de drenagem geral da cidade com base num bom conjunto de dados que, uma vez que os registos técnicos não estão disponíveis, ainda tem que ser estabelecido através de estudos de campo detalhados. Depois destes estudos deve-se aplicar cálculos hidráulicos ou uma abordagem de modelação para redesenhar o sistema de drenagem. De momento não se sabe por que as canaletas existentes foram construídas com uma capacidade hidráulica tão limitada. A possibilidade de que pelo menos algumas destas canaletas ter sido concebida para servir de *hydraulic throttles* deve ser investigada e as respectivas implicações devem ser discutidas.

Os resultados das avaliações dos cenários com e sem vegetação e resíduos sólidos nos principais canais mostram que a limpeza dos canais os colocaria em melhor forma hidráulica e, como tal, a frequência das enchentes seria menor na parte à montante, mas os picos e volume da enchente seriam maiores na parte à jusante da área de estudo. Para melhorar a situação da área no geral, incluindo medidas de manutenção assim como medidas estruturais para incluir SuDS que reduzam o escoamento e aumentem a capacidade hidráulica das canaletas próximas a saída da captação.

Tal como demonstraram as entrevistas nos dois bairros avaliados Maxaquene A e Mavalane A, o conhecimento das consequências do depósito de lixo à céu aberto é baixo entre a população local. Contudo, os respectivos resultados de modelação mostram que a manutenção da infraestrutura de drenagem existente livre de lixo e resíduos sólidos nos canais e canaletas pode ter um efeito muito positivo na capacidade hidráulica dos canais de drenagem de águas pluviais. Pode-se então concluir que campanhas de sensibilização para um tratamento mais consciente e organizado dos resíduos sólidos dentro dos bairros modelados, e em toda a cidade de Maputo, pode ter consideráveis efeitos positivos na redução da frequência e magnitude das enchentes de águas pluviais e por isso devem acompanhar as medidas acima mencionadas.

Os impactos das mudanças climáticas foram investigados com recurso a melhor aproximação possível considerando o estado de disponibilidade de dados. Verificou-se que os impactos das mudanças climáticas tinham uma importância secundária e menor impacto comparativamente ao actual estado deteriorado do sistema de drenagem onde a manutenção, limpeza, implementação de SuDS e melhoria dos pontos de estrangulamento identificados numa abordagem holística teriam o maior benefício líquido na redução das enchentes urbanas.

Globalmente, é fundamental recalcular a rede de drenagem:

- Considerando as respectivas redes de drenagem da fonte para o mar como na sua totalidade e não apenas como as partes em que se registam problemas actualmente de modo a não só transferir o problema, mas sim resolvê-lo de forma holística
- Tomando decisões políticas sobre o grau de enchente permitido considerando a importância, vulnerabilidade e valor dos diferentes locais assim como a magnitude e período de retorno para o qual se pode permitir a enchente (ex.: podem existir locais de baixo valor ou menos vulneráveis para os quais se pode permitir mais enchentes com relação a magnitude e frequência do que para locais de elevado valor e maior vulnerabilidade. O sistema de drenagem pode então ser concebido conforme o caso).
- Considerando onde poderá ser disponibilizado espaço para a implementação do SuDS
- Considerando as estimativas de impacto das mudanças climáticas na análise e concepção do sistema, na ausência de conjuntos de dados sólidos utilizando estimativas se se registar um aumento de intensidades. Deve-se entender que estas estimativas não seriam baseadas em conjuntos de dados sólidos e levariam respectivamente a um sistema à prova de falhas, mas sim um esforço para melhorar a preparação do sistema para possíveis impactos das mudanças climáticas sem o conhecimento exacto da sua magnitude.

3.5.6 Elaboração de um manual para uso continuado do modelo

Para facilitar e promover uma maior aplicação do SWMM5 em Maputo, foi elaborado um curto manual executivo e incluído no Anexo do presente relatório. O manual faz referência a fontes de informação detalhada para os passos de modelação necessários para os cenários descritos.

3.5.7 Formação básica em SWMM5

Realizou-se uma formação básica de SWMM5 a 21 e 22 de Março em Maputo. De entre as instituições que enviaram participantes estavam

- UEM, Departamento de Geografia
- Ara-Sul
- DNA
- Conselho Municipal de Maputo, Departamento de Planeamento Urbano

Foram convidados participantes da AIAS, INGC e do Departamento de Drenagem Urbana do Conselho Municipal de Maputo, mas a sua participação não foi possível por motivos de agenda.

3.6 CONSULTA AOS INTERVENIENTES

3.6.1 Consulta aos intervenientes durante a fase inicial

Para discutir os esforços actualmente em curso e as reais prioridades das instituições nacionais e locais, realizou-se um seminário de intervenientes em Maputo a 21 de Setembro de 2011. A agenda foi definida com antecedência como sendo: Discutir a alto nível técnico e institucional os seguintes pontos:

1. Em que locais de Maputo a enchente de águas pluviais causa os maiores problemas? → Quais são os pontos mais críticos?

2. Qual é a potencial importância futura dos recursos hídricos subterrâneos no subsolo de Maputo e como estes podem ser mantidos/melhorados (i.e., através do uso da infiltração de águas pluviais para recarga de águas subterrâneas)?
3. Quem está interessado em utilizar o modelo SWMM para Maputo futuramente? Qual serão os principais interesses da utilização do modelo? Quem serão as pessoas que irão trabalhar com o modelo?
4. Quais são as perspectivas de desenvolvimento em grande escala da cidade de Maputo nos próximos 5-10 anos? Construção de novos esgotos? Construção de novos drenos? Alargamento da rede de abastecimento de água? Diversificação do abastecimento de água (captura de água da chuva, águas subterrâneas)?

O seminário foi realizado com sucesso nas instalações do INAM com participantes de todos os intervenientes convidados. No seminário, foi apresentada aos participantes uma breve visão geral dos objectivos do projecto, seguida por uma introdução ao modelo de escoamento de águas pluviais SWMM e uma visão geral sobre a Gestão de Águas Urbanas com exemplos de medidas implementadas com sucesso noutros países, principalmente no Brasil. Os objectivos e resultados do seminário de intervenientes são apresentados de forma breve na *Tabela 3-20*.

Tabela 3-20: Seminário de Intervenientes a 21 de Setembro de 2011 em Maputo

OBJECTIVO DO SEMINÁRIO

Debater e trabalhar sobre seguintes temas:

- Problemas de drenagem de águas pluviais em Maputo / possibilidades de melhoria dos problemas de drenagem de águas pluviais
- Recursos Hídricos de Maputo
- Desenvolvimento infra-estrutural presente e futuro em Maputo
- Potencial e limitações do modelo SWMM
- Utilização futura do modelo SWMM (após a entrega ao Cliente)
- Importância / Relevância das águas subterrâneas como recurso de água potável em Maputo

INSTITUIÇÕES REPRESENTADAS NA REUNIÃO

As seguintes instituições estiveram representadas no seminário:

- Águas da Região de Maputo (FIPAG, sector de abastecimento de água, nível regional)
- ARA-Sul (sector de abastecimento de água, nível nacional)
- CMM: Conselho Municipal de Maputo (nível local)
- INGC (gestão de emergências, nível nacional)
- UN-Habitat (nível internacional)
- UEM (universidade)
- DNA/DGRH (gestão de recursos hídricos, nível nacional)
- DNA/DAU (recursos hídricos e abastecimento de água, nível nacional)

Após a parte introdutória, as perguntas abertas acima listadas foram discutidas em 2 grupos, um “grupo nacional” e um “grupo municipal). Subsequentemente os resultados dos debates em grupo foram partilhados e discutidos abertamente. Os resultados deste processo foram compilados de acordo com os seguintes temas:

- 1) **QUESTÕES REFERENTES A ENCHENTES**
 - a. **Zonas de Maputo em que as enchentes causam grandes problemas**
 - b. **Principais causas das enchentes**
 - c. **Esforços realizados para lidar com os problemas de enchentes**
- 2) **QUESTÕES REFERENTES A ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**
- 3) **INSTITUIÇÕES POTENCIALMENTE INTERESSADAS NA MODELAÇÃO COM O SWMM**

Para informação mais detalhada consultar o Relatório Inicial

3.6.2 Consulta aos intervenientes durante a fase principal

Para poder discutir os resultados intermédios do projecto e as recomendações resultantes por parte do Consultor, foram consultados os respectivos intervenientes. Durante a missão final do projecto em Março de 2012 as seguintes instituições foram consultadas e informadas sobre o progresso do projecto:

- DNA (Sr. Mutivue, Sr. Carimo)
- Ara-Sul (Sr. Vilanculos, Sr. Chaguale)
- INGC (Sr. Queface)
- AIAS (Sr. Matavela)
- UN-Habitat (Sr. Silva Magaia)
- UEM (Sr. José Rafael, Sr. Francisco Tauacale, Sra. Alice Nuns)

Foi também realizada uma reunião com a Eng^a. Isabel Vaz que foi responsável pelo Desenho da infra-estrutura de drenagem urbana entregue a DNA em 2005.

Infelizmente as tentativas de estabelecer contactos com outras instituições como o Departamento de Drenagem Urbana da Conselho Municipal de Maputo não foram bem sucedidas. Assim, foi impossível recolher informação conclusiva sobre o grau de implementação das recomendações dadas por Lahmeyer nos *Planos Estratégicos de Saneamento para 7 Municípios* (DNA, 2005).

Note-se que o Departamento de Saneamento do DND, assim como o Departamento de Drenagem Urbana da Conselho Municipal de Maputo foram abordados repetidamente com o pedido para facultarem informações sobre a infra-estrutura de drenagem existente e prevista de Maputo. Infelizmente, estes pedidos não tiveram uma resposta positiva.

3.7 RECOMENDAÇÕES

De acordo com os Termos de Referência, foram seleccionadas e elaboradas em detalhe três possíveis medidas. Com base nas visitas de campo e nas consultas com intervenientes durante a principal fase do projecto, assim como nos resultados do estudo de campo e modelação hidráulica com SWMM5, foi colocada ênfase em medidas de mitigação para a redução do problema imaneente de enchentes urbanas.

Recomendam-se as 3 medidas seguintes para implementação imediata.

1. Melhoria da manutenção do sistema de drenagem urbana existente
2. Novo cálculo e desenho de toda a actual infra-estrutura de drenagem urbana
3. Medidas estruturais dentro do canal

A reutilização de águas pluviais não foi enfatizada por não constituir uma prioridade para os intervenientes consultados. Nenhum interveniente expressou qualquer interesse assinalável nas possibilidades de recarga de águas subterrâneas ou abastecimento suplementar de água (ex.: para uso agrícola ou industrial).

3.7.1 Melhoria na manutenção do sistema de drenagem urbana actual

Durante as missões de campo do Consultor, foi inspeccionada a infra-estrutura de drenagem de águas pluviais em grande parte de Maputo. Os resultados destas inspecções foram muito semelhantes em toda a cidade:

1. Em muitos distritos e bairros existe uma infra-estrutura de águas pluviais bastante extensa
2. Em todos os distritos a infra-estrutura de drenagem de águas pluviais inspeccionada está em condições relativamente más no que se refere a integridade estrutural ou nível de manutenção ou ambos
3. Muitos dos canais abertos de drenagem de águas pluviais estavam completamente bloqueados com resíduos sólidos ou sedimentos dando a impressão de não estarem operacionais há anos

A seguir, apresentam-se as impressões acima listadas na forma de uma breve documentação fotográfica:



Figura 3-33: *Canaleta no canal de águas pluviais ao longo da Av. Acordos de Lusaka no Bairro Maxaquene A*



Figura 3-34: Vista de trás da mesma canaleta



Figura 3-35: Canal secundário no Bairro Maxaquene A, parcialmente repleto de resíduos sólidos



Figura 3-36: *Principal canal de águas pluviais ao longo da Av. Acordos de Lusaka no Bairro Maxaquene A com um “caudal de base” de aprox. 10 l/s águas residuais domésticas e com depósitos de resíduos sólidos.*



Figura 3-37: *Ponte sobre o canal de águas pluviais ao longo da Av. Acordos de Lusaka que serve de canaleta parcialmente bloqueada devido aos depósitos de resíduos sólidos volumosos*



Figura 3-38: Canal secundário no Bairro Maxaquene A, desactivado devido ao bloqueio por resíduos sólidos



Figura 3-39: Parte à montante do principal canal de águas pluviais na Av. Joaquim Chissano (vista de jusante), completamente bloqueado por sedimentos



Figura 3-40: Parte à montante do principal canal de águas pluviais na Av. Joaquim Chissano (vista de jusante), completamente bloqueado por sedimentos

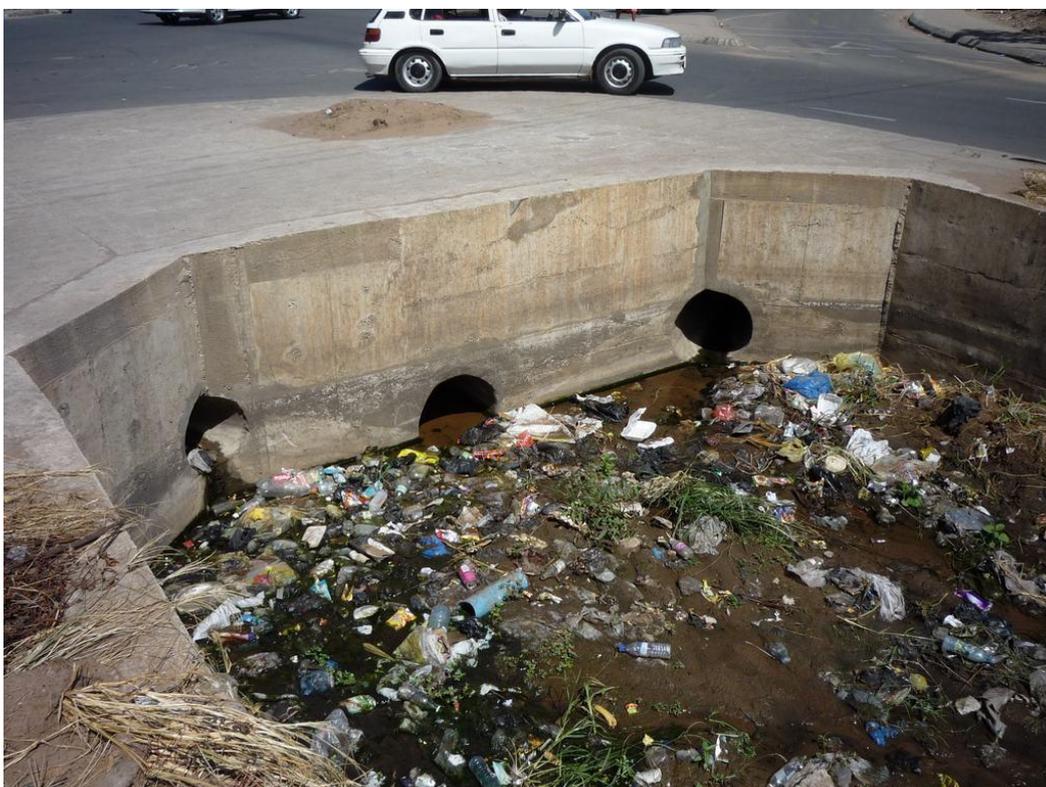


Figura 3-41: Afluxo de vários canais secundários para o principal canal de águas pluviais na Av. Joaquim Chissano, directamente à jusante do canal bloqueado mostrado na Figura 3.39 e Figura 3.40



Figura 3-42: Canal secundário no Bairro Maxaquene: bloqueado intencionalmente pelos moradores para obter acesso as suas residências



Figura 3-43: Canal de águas pluviais, completamente bloqueado por vegetação



Figura 3-44: Entrada de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo: bloqueada por resíduos sólidos



Figura 3-45: Entrada de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo: bloqueada, água não entra no sistema de esgotos



Figura 3-46: Entrada de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo: bloqueada por resíduos sólidos



Figura 3-47: Entrada de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo: bloqueada, água não entra no sistema de esgotos



Figura 3-48: Canal secundário no Bairro Mafalala. Bloqueado por baixo das lajes de betão que foram colocadas sobre o canal para passagem pedonal



Figura 3-49: Canal secundário no Bairro Mafalala. Bloqueado por baixo das lajes de betão que foram colocadas sobre o canal para passagem pedonal

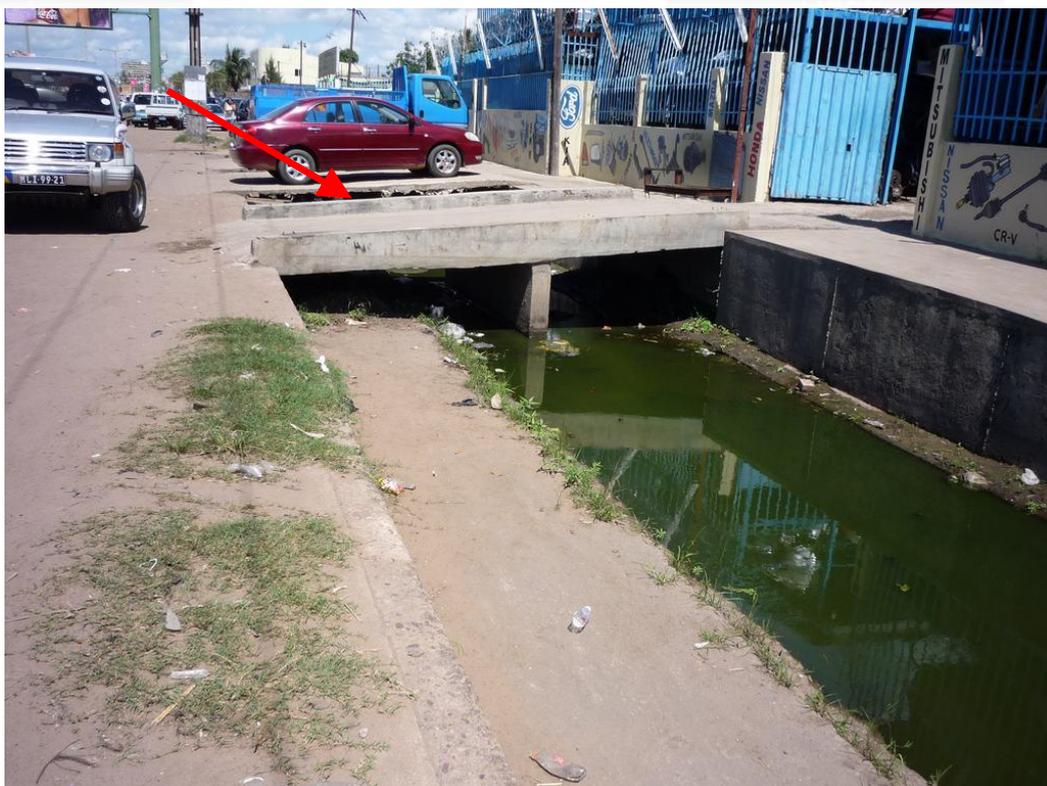


Figura 3-50: Canal de drenagem próximo ao Bairro Mafalala. A seta vermelha marca a posição onde a fotografia (Figura 3.51) abaixo foi tirada



Figura 3-51: Canal secundário no Bairro Maxaquene. Quase completamente bloqueado por resíduos sólidos



Figura 3-52: Canal de drenagem próximo ao Bairro Mafalala, bloqueado por resíduos sólidos e vegetação.



Figura 3-53: O mesmo que acima. Os trabalhadores que estão a limpar o canal não possuem ferramentas adequadas para o limparem devidamente.



Figura 3-54: Canal secundário no Bairro Sommerschield / Polana Caniço A (próximo a bacia de retenção)



Figura 3-55: Canal secundário no Bairro Sommerschield, bloqueado por sedimentos.

Da distribuição dos sedimentos no canal pode-se concluir que neste canal as águas fluviais fluem em direcção ao handcart, onde o canal termina de repente.



Figura 3-56: Canal secundário no Bairro Sommerschild / Polana Caniço A (próximo a bacia de retenção)



Figura 3-57: Bacia de retenção inacabada a Norte de Sommerschild (na Av. Julius Nyerere)

Tal como é visível nas fotografias acima, a variedade de impedimentos na infra-estrutura de drenagem urbana é muito ampla, com problemas que poderiam ser resolvidos facilmente se existissem os recursos necessários (fossem disponibilizados). A limpeza de muitas das canaletas, entradas e canais não requer maquinaria pesada. Mão-de-obra suficiente e alguns camiões para o transporte dos resíduos e sedimentos removidos provavelmente seriam suficientes para a maioria dos problemas acima expostos.

Um problema que pode não ser tão facilmente visível, mas que pode ser implicitamente reconhecido nas fotografias acima é o possível entupimento de tubos de drenagem de águas pluviais na cidade de cimento de Maputo (ver *Figura 3.45* e *Figura 3.47*). O grau de entupimento dos respectivos tubos de esgoto apenas pode ser estimado e o próprio problema apenas pode ser resolvido por empresas especializadas com o equipamento especial necessário tal como o equipamento de lavagem de alta pressão e *Closed Conduit TV* (CCTV) para inspecção interna.

Considerando tudo o que foi exposto acima, as seguintes medidas são recomendadas para implementação:

- 1. Elaboração de um inventário da infra-estrutura de drenagem urbana, com informação sobre a posição exacta, funcionalidade técnica (i.e. estado), operabilidade, necessidade de reabilitação**
 - a. Estudo de toda a infra-estrutura de drenagem e saneamento urbano de toda a Cidade:
 - i. Posição exacta da infra-estrutura
 - ii. Elevação exacta da infra-estrutura
 - iii. Diâmetros exactos de todos os canais, esgotos, canaletas,
 - iv. Posição, elevação e volume exactos das bacias de retenção
 - v. Posição, elevação e funcionalidade de barragens e diques
 - vi. Funcionalidade / Operabilidade de toda a infra-estrutura
 - b. Mapeamento digital e inventário de toda a informação levantada
 - c. Elaboração de uma base de dados contendo informação existente e recentemente levantada sobre toda a infra-estrutura de drenagem e saneamento urbano
 - d. Em cooperação com a AIAS e Departamento Municipal de Drenagem Urbana incluir toda a informação disponível sobre a infra-estrutura de drenagem urbana já contratada ou já desenhada na base de dados A.M.

→Custo estimado de consultoria internacional e nacional: **USD 420,000**
- 2. Elaboração de um plano detalhado de Operação & Manutenção para toda a infra-estrutura de drenagem e saneamento urbano**

→ Custo estimado de consultoria internacional e nacional: **USD 80,000**
- 3. Campanha de limpeza de toda a infra-estrutura de drenagem e saneamento urbano em toda a Cidade e implementação imediatamente a seguir do Plano de O&M anteriormente elaborado**

→ Custo estimado⁶:

⁶ Todas estas taxas devem ser consideradas como estimativas por alto com base na consulta feita junto de empreiteiros em Maputo. Há uma variedade de factores que irão influenciar as taxas em determinadas zonas, como por exemplo:

- Acesso para camiões pararem e carregarem os resíduos limpos – ex. na Av. Joaquim Chissano onde existe um elevado volume de tráfego e nenhuma berma para a viatura parar e carregar.
- Distância em relação ao aterro onde o camião vai descarregar

- a. Limpeza do canal > 3m - Poluição acentuada: **USD 51/m** - Poluição ligeira: **USD 26/m**
- b. Limpeza do canal < 3m - Poluição acentuada: **USD 31/m** - Poluição ligeira: **USD 18/m**
- c. Limpeza do aqueduto rectangular: **USD 285/cisterna**
- d. Limpeza da entrada de drenagem urbana: **USD 18 cada**
- e. Limpeza de esgoto por metro **USD 10/m** ou até **USD 20/m** se for aplicado o CCTV e um for criado um cadastro de esgoto com base em GIS.

4. Paralelamente a campanha de limpeza: Campanha de informação em toda a Cidade sobre a gestão da drenagem urbana e de resíduos sólidos, informando a população sobre

- a. A funcionalidade da infra-estrutura de drenagem urbana em Maputo
- b. As consequências directas e indirectas do bloqueio da infra-estrutura de drenagem urbana por resíduos sólidos
- c. As consequências directas e indirectas do bloqueio da infra-estrutura de drenagem urbana por moradores/actividades comerciais propositadamente
- d. Implicações do depósito descontrolado de resíduos sólidos para a saúde
- e. Implicações da emissão descontrolada de águas residuais para a infra-estrutura de drenagem urbana para a saúde

→ Custo estimado de consultoria internacional e nacional: **USD 120,000**

→ **Custo total estimado de consultoria internacional e nacional: USD 670,000**

→ **Custo total estimado da implementação de medidas: dependendo da extensão dos canais e esgotos e do número de canaletas, respectivamente. Ver as taxas estimadas acima.**

3.7.2 Novo cálculo e desenho de toda a actual infra-estrutura de drenagem urbana

Com base nos resultados do estudo acima descrito e na elaboração de um inventário da infra-estrutura de drenagem urbana, a funcionalidade do sistema existente deve ser recalculado hidraulicamente considerando o estado real e operabilidade das estruturas. Os pré-requisitos para este trabalho de engenharia devem ser fornecidos através de um estudo de campo antes das obras, i.e., tal como se descreve acima. Com base no estudo de campo e nos passos subsequentes (mapeamento digital e inventário de toda a informação levantada, elaboração de uma base de dados), pode-se desenvolver um modelo detalhado para toda a cidade de modo a recalculer os dados hidráulicos de todo o sistema de drenagem de Maputo. Este modelo deverá ser elaborado em estreita colaboração com o Departamento Municipal de Drenagem e Saneamento Urbano.⁷

Este novo cálculo teria que incluir:

1. Avaliação da documentação existente que está disponível para a actual infra-estrutura de drenagem urbana, os critérios de desenho aplicados e as experiências do operador relativamente a sua real funcionalidade.

• Acesso a equipamento mecânico de limpeza de drenos para drenos de águas pluviais – Suspeito que a maioria dos drenos não é limpa há muitos anos.

⁷ Note que a elaboração de um Plano Director de Drenagem Urbana para Maputo está em fase de concurso público internacional de momento. As medidas aqui sugeridas devem ser tratadas em estreita colaboração com o Consultor que vencer este concurso.

2. Novo cálculo hidrológico de tempestades-tipo relevantes (idealmente com base na informação dos recém-instalados dispositivos hidrométricos de medição de precipitação).
 3. Cálculo mono ou bidimensional do fluxo estável e não estável de canais abertos
 4. Cálculo hidráulico estável e não estável de todos os esgotos de águas pluviais e residuais canalizados.
 5. Cálculo detalhado de toda a rede de esgotos e drenagem em toda a cidade (ex.: com SWMM5)
- Custo estimado de consultoria internacional e nacional:
- a. **USD 120,000** se todos os dados necessários e informação solicitada forem fornecidos pelo Conselho Municipal de Maputo
 - b. Até **USD 300,000** se os respectivos estudos tiverem de ser organizados e realizados pelo Consultor contratado (independentemente de ser nacional ou internacional) e respectivos sub-adjudicatários locais

Com base nos resultados do cálculo hidráulico e do modelo hidráulico para toda a cidade, deve ser feito um **novo desenho⁸ de toda a rede de esgotos e drenagem de águas pluviais**, tendo em conta

- a) A actual infra-estrutura de drenagem urbana
- b) A infra-estrutura⁹ de drenagem urbana já contratada ou já desenhada (mas ainda não implementada)
- c) A realidade política em Maputo, em particular com relação ao Mercado de habitação e as realidades das zonas periurbanas com os seus assentamentos informais e possibilidades insuficientes de instalação de uma infra-estrutura de alto nível.
- d) Planos de Desenvolvimento Urbano e Planos Directores Estratégicos
- e) Recomendações anteriores de outros consultores (ex.: DNA 2005)
- f) Possíveis expansões do sistema de drenagem urbana considerando devidamente os planos de desenvolvimento urbano, interesses dos intervenientes e os novos cálculos hidrológicos

→ Custo estimado de consultoria internacional e nacional: **USD 400,000**

→ **Custo total estimado de consultoria internacional e nacional: USD 520,000 a USD 700,000**

3.7.3 Medidas estruturais

Com base nos resultados da modelação da sub-captação Maxaquene A e Mavalane A, recomendam-se para implementação ou pelo menos consideração algumas medidas estruturais em alguns grandes pontos de estrangulamento hidráulico:

1. **Expansão / reconstrução de canaletas, com base nos resultados de um modelo hidráulico para a cidade:** não é possível fazer uma estimativa exaustiva e fiável de custo indicativo para esta medida, dado que
 - a. Para cada canaletas existem diversas opções exequíveis (expansão da largura/altura livre das cisternas, construção de cisternas adicionais, remoção e reconstrução completa)

⁸ i.e, desenho conceptual

⁹ Reconhece-se que existem muitos projectos do género em já curso, ex.: financiado pela Cooperação Italiana.

- b. Existe um grande número de canaletas de diferentes dimensões que podem ser consideradas para a reconstrução. Conforme é referido nas conclusões da modelação, o redimensionamento de canaletas deve basear-se numa modelação hidráulica de todo o sistema de drenagem urbana da cidade, que não pôde ser feita nesta fase do projecto ao nível de detalhe que seria necessário para tal dimensionamento.

→Custo estimado por canaletas/ponte incluindo o desenho, remoção da antiga canaletas/ponte e reconstrução de estradas: **USD 50,000 a USD 500,000**, dependendo muito do âmbito de obras acordado.

2. Conceito, desenho e implementação de Medidas de Baixo Impacto tais como:

- a. Propagação de sistemas de captura de água da chuva de pequena escala, em particular nos bairros onde não existe um abastecimento contínuo de água da rede pública.
→ Custo estimado por sistema doméstico de captura de água da chuva, dependendo do tamanho e formato do telhado e do volume de armazenamento necessário: **USD 150 a USD 500**
- b. Construção de poços de infiltração, em particular onde os níveis de água subterrânea têm baixado nos últimos anos em consequência do uso excessivo destes recursos.
→ Custo estimado por poço, dependendo da capacidade de infiltração do subsolo e da profundidade e diâmetro resultante do poço: **USD 500 a USD 5,000**
- c. Construção de trincheiras de infiltração onde estas forem aplicáveis, i.e., onde o nível de águas subterrâneas não é demasiado baixo.
→ Custo estimado por metro quadrado: **USD 80 /m²**
- d. Estradas e Drenos, ex.: em Maxaquene A e Mavalane A (comparar com Mafalala)
→ Custo estimado por metro quadrado: **USD 200 /m²**

3. Conclusão da bacia de retenção de águas pluviais na parte Norte da Sommerschield:

Como pode-se observar na documentação fotográfica acima (*Figura 3.57*), a bacia de retenção de águas pluviais ficou por concluir nos desenhos anteriores do consultor local, *Consultec*, em 2005 e nunca mais foi concluída. Supondo que esta bacia de retenção faça parte de um conceito de drenagem urbana de grande escala (por confirmar) recomenda-se que as obras para a conclusão da bacia de retenção sejam retomadas. O custo desta medida depende de muitos factores (superfície prevista, opções operacionais previstas e a comporta/represa resultante, capacidade de armazenamento prevista) e não pode ser calculado sem acesso a respectiva documentação detalhada do desenho. Em todo o caso deve-se observar que quaisquer medidas de construção futuras devem basear-se nos resultados de um modelo hidráulico detalhado da cidade.

3.7.4 Outras recomendações

Para além das recomendações detalhadas acima apresentadas, recomenda-se que se tome em consideração as seguintes medidas:

- i. Desenvolvimento imediato e implementação a curto prazo de um plano integrado de operação e manutenção para a actual infra-estrutura de drenagem urbana.
- ii. Elaboração e implementação de um plano director integrado de uso e aproveitamento de terra e assentamento para toda a cidade de Maputo (incluindo Matola e subúrbios), começando com as novas áreas de expansão e continuando com a replanificação dos

assentamentos informais existentes de uma forma mais estruturada de forma a permitir a instalação de infra-estrutura básica.

- iii. Concentração da posse e responsabilidade de O&G pela infra-estrutura de drenagem urbana numa instituição, ex.: a Conselho Municipal de Maputo.
- iv. Modelação de enchentes urbanas com um modelo hidráulico 2D que seja capaz de modelar a inundação real das áreas adjacentes aos canais de drenagem urbana.

3.8 REFERÊNCIAS

- AMEC. 2001: Earth and Environmental Center for Watershed Protection and Associates Jordan Jones and Goulding Atlanta Regional Commission. Georgia Stormwater Management Manual. Vol 2. Technical handbook. First Edition.
- ARCGIS RESOURCE CENTRE. Under:
<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009t00000004000000>.
(Accessed on 19/11/2011).
- CIRIA. 2007: The SUDS Manual, C697. London. P: 1-17.
- CIRIA. 2007a: Site handbook for the construction of SUDS. C698. London.
- CIRIA. 2008: Sustainable urban drainage systems. Design manual for Scotland and Northern Ireland. C521.
- CMCM (2008): Plano de Estrutura Urbana do Município de Maputo (PEUMM) – I Análise da Situação Urbana do Município de Maputo.
- DIMANDE, A.A., VICENTE, E.M. & MANUEL, I.R. (2001). Geochemical Characterization of Groundwater from the Mavalaneand Maxaquene Quarters, Maputo City, Mozambique. In: Proceedings of 7th Geochemistry Congress of CPLP, Faro, 740-742 (in Portuguese).
- DNA, National Directorate of Water Government of Mozambique, Ministry of Public Works & Housing. (2005): Strategic Sanitation Plans for 7 Municipalities Maputo, Matola, Beira, Dondo, Nampula, Pemba and Quelimane. Draft report by Lahmeyer International Consultants, GWK, ERM-LI, Projecta, Impacto
- DNA, Directorate of Water Government of Mozambique (2011): Environmental and Social Impact Assessment (ESIA) for Completion of the Corumana Dam. Volume 1: Biophysical Environment (EIA). Draft ver. 06. P: 7.
- ERTL T. 2011: Personal communications.
- INGC (2009): Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique: Main Report. National institute for Disaster Management
- JOSEPH T. 2007: Catchment and overland flow pathway delineation using LIDAR and GIS grid based approach in urban stormwater and sewer network models.
- LONGLEY P., GOODCHILD M.F., MAGUIRE D.J., RHIND D.W. 2005: Geographic information systems and science. Second Edition. John Wiley and Sons. New York. P:74-77.
- MASKELL, A.D. and SHERRIFF, J.D.F. 1992: Scope for Control of Urban Runoff. Volume 2: A Review of Present Methods and Practice, CIRIA R124.
- McCUEN R. et al. 1996): Hydrology, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- PALALANE J. (2010): Comparative analysis of sub-surface drainage solutions in Maxaquene "A". Master Thesis. Lund University. Lund.
- SEED, Sociedade de Engenharia e Desenvolvimento Lda. (2011): Formulation of an Outline Strategy for Maputo City Citywide Sanitation Planning. Final Report. Maputo. P:47- 48
- USEPA (2009): STORM WATER MANAGEMENT MODEL APPLICATIONS MANUAL
- VICENTE E. M., JERMY C. A., SCHREINER H. D. (2006): Urban Geology of Maputo, Mocambique.

SUBCOMPONENT 4: CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA

4.1 SUMÁRIO EXECUTIVO

O Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura (PAGAA) pretende oferecer aos agricultores vulneráveis uma maior capacidade de resistência em relação à Mudanças Climáticas.

O projecto promove o uso melhorado de água para fins agrícolas de modo a proteger os agricultores dos crescentes níveis de variabilidade da queda das chuvas tanto no que diz respeito a períodos entre anos como ao longo dos anos. Este projecto irá trabalhar principalmente com os agricultores vulneráveis, mas irá também apoiar os agricultores estáveis, que ao longo do tempo se constituirão em agricultores comerciais emergentes que, dessa forma, demonstrarão os benefícios das técnicas de Gestão de Água aos agricultores mais vulneráveis. O projecto complementarará assim os projectos virados para uma irrigação mais formal e que se destinam a projectos agrícolas maiores e envolvem uma gestão partilhada de recursos hídricos, incluindo o grande programa PROIRRI.

Este projecto foi concebido como parte integrante da Segunda Fase do Projecto “Respondendo às Mudanças Climáticas em Moçambique” coordenado pelo INGC.

Esta segunda fase apresenta oito temas, envolvendo todos os sectores principais com probabilidades de ser afectados pelas mudanças climáticas. O Tema 5 lida com a água e a sua Subcomponente 4 presta apoio na preparação e/ou elaboração do Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura. Este relatório é o principal resultado dos trabalhos da Subcomponente 4. Há que frisar que a Subcomponente 4 é essencialmente independente de todas as outras subcomponentes do Tema 5, mas tem sempre em conta o trabalho a ser levado a cabo pelo Tema 6 que lida com as estimativas sobre comida e produção Agrícola.

O projecto irá custar USD2.5 milhões e irá gerar benefícios anuais de mais de USD600.000.00 depois de cinco anos envolvendo 34000 agricultores.

Os principais benefícios advirão do uso de técnicas de gestão de água para fins agrícolas no cultivo de hortícolas ou legumes durante a estação seca que serão consumidos e vendidos pelas famílias produtoras. As técnicas de gestão de água para a agricultura irão também fornecer alguma protecção contra seca durante a época chuvosa, algo que afecta os legumes e os alimentos básicos. Isso fornecerá desse modo uma protecção adicional em relação a variabilidade das chuvas. Outros benefícios adicionais serão sentidos pela população urbana circunvizinha do projecto que passará a ter melhores fontes de alimentos.

As Mudanças Climáticas trarão maiores benefícios ao projecto.

O projecto apresenta poucos riscos, pois ele irá gerar bons retornos quer haja ou não mudanças climáticas. Na maior parte dos casos, os retornos do projecto serão maiores se houver mudanças climáticas do que sem elas. As mudanças climáticas irão provavelmente resultar numa redução dos níveis médios de produção Agrícola quer haja ou não gestão da água para a agricultura, o que tenderá a reduzir os retornos do projecto. Contudo, tudo isto será mais do que compensado por três factores que aumentarão os retornos se as Mudanças Climáticas acontecerem, nomeadamente o facto de (a) as Mudanças Climáticas virem provavelmente a resultar numa maior frequência e duração dos espasmos secos durante a época chuvosa e o projecto vir a

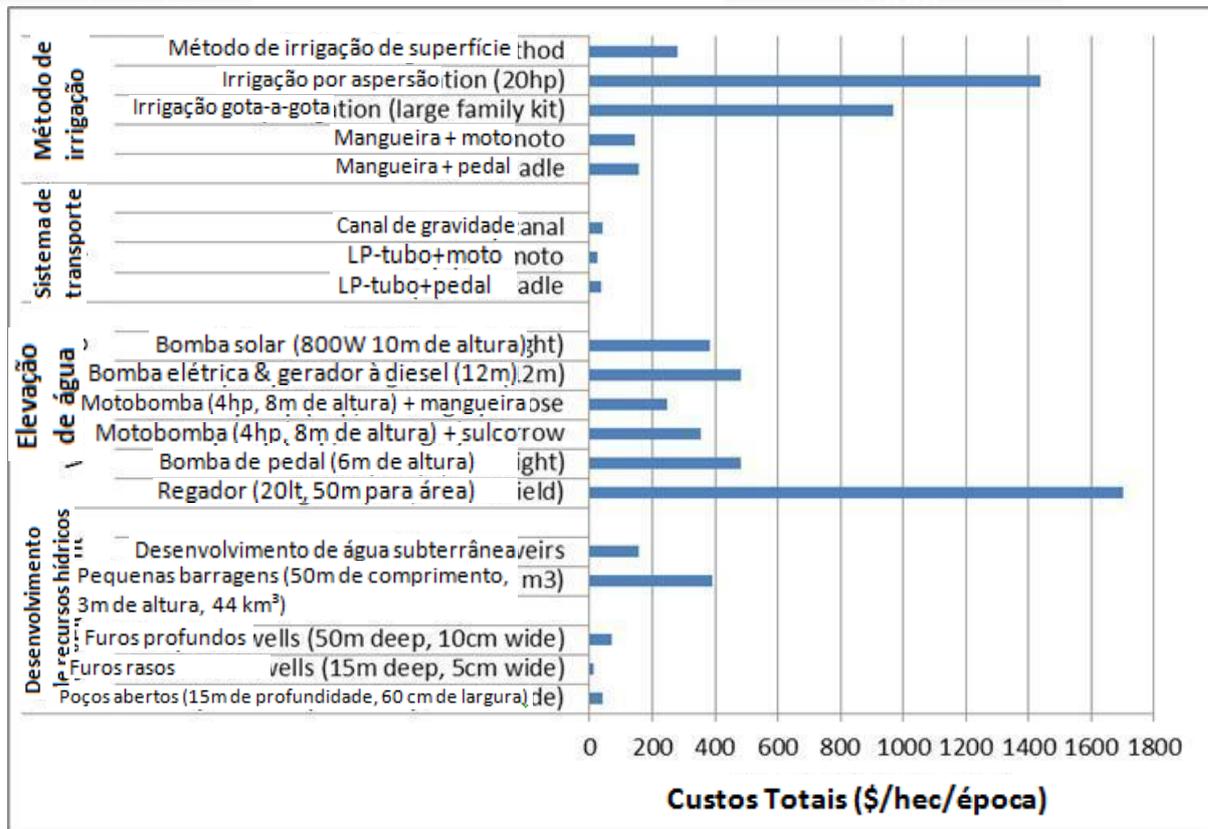
gerar benefícios adicionais ao ajudar a proteger os agricultores contra este efeito; (b) as Mudanças Climáticas muito provavelmente virem a levar à uma maior concentração dos níveis de ozono troposférico durante períodos normais de plantio durante a estação chuvosa e isso vir a aumentar relativamente os níveis de rendimentos dos agricultores durante a época seca, algo que se tornará possível graças a gestão de água e (c) a probabilidade de as Mudanças Climáticas virem a levar à maiores riscos de cheias e dessa forma à maiores benefícios aos agricultores ao ser capazes de cultivar terras que se encontram acima da planície inundada usando técnicas de gestão de água fornecidas pelo projecto.

O Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura baseia-se na mais recente experiência de Gestão de Água para a Agricultura realizada em Moçambique e a nível internacional.

A sua preparação foi feita por dois peritos internacionais e outros tantos moçambicanos. Com efeito, o trabalho baseia-se na experiência que o INGC tem no apoio aos agricultores mais vulneráveis às Mudanças Climáticas. Na preparação deste projecto, avaliaram-se evidências recentes a nível internacional em relação ao desempenho físico e económico das opções de gestão de água de modo a isolar ou categorizar as técnicas de gestão de água que são mais promissoras. Foram também realizados encontros com parceiros-chave do governo, doadores e agentes do sector privado. O trabalho de campo envolveu discussões com agricultores perto de Maputo e Beira para perceber as actuais práticas de gestão de água e sistemas de cultivo e para explorar possível interesse por novas técnicas. Consultou-se a chamada “literatura cinzenta” a nível internacional a procura de evidências para colmatar lacunas e complementar as evidências obtidas em Moçambique.

Foi feita uma análise detalhada dos custos unitários das técnicas de gestão de água para a agricultura.

A análise baseou-se no trabalho a decorrer a nível internacional, evidentemente adaptado às condições prevalentes em Moçambique. Na maior parte dos casos, precisa-se de uma combinação de técnicas para extrair água, levá-la para o campo e aplicá-la às plantas. Os custos unitários de cada técnica individual dependem da forma como cada técnica é combinada com outras técnicas; por isso não é fácil apresentar valores simples. Os custos unitários de algumas técnicas dependem também em grande medida dos pressupostos que existem sobre o custo da mão-de-obra. Contudo, a tabela a seguir apresenta um sumário indicativo dos custos unitários. Na prática, as técnicas mais apropriadas para uma determinada região dependem dum variado conjunto de condições, que incluem a disponibilidade de recursos hídricos, práticas agrícolas e as condições das famílias e comunidades.



Seis combinações de técnicas de Gestão de Água para a agricultura encontram-se aqui referenciadas como sendo as que têm maiores probabilidades de ser sustentáveis e adequadas.

Com efeito, já foi preparada uma pequena lista de referência contendo as tais seis combinações de técnicas de gestão de água trarão soluções que sejam mais eficazes em termos de custos no que diz respeito às circunstâncias de Moçambique. Há três opções de “água azul” (que usam a água trazida ao terreno a partir dos recursos existente na superfície da terra ou no solo) e três outras técnicas, tal como descrito na tabela que se segue:

Opções de Água Azul
A: Água superficial e motobombas (com ou sem tubos e irrigação por mangueiras)
B: poços abertos de baixo custo com motobombas ou bombas de pedal
C: poços com tubos rasos com motobombas ou bombas eléctricas submersíveis
Outras Opções
D: Captação de Água (CA)
E: Agricultura de Conservação (AC)
F: Contrôlo de drenagem nas terras húmidas

As combinações de água azul tipicamente custam entre USD500 e USD700 por hectare e por época, embora haja variações, dependendo particularmente da altura até a qual a água deve ser enchida. A recolha de água envolve custos baixos de cerca de USD 100 por hectare e por época, mas oferece benefícios mais baixos. A agricultura de conservação apresenta um custo não corrente transitório mas depois apresenta benefícios sustentáveis em termos de rendimentos com custos mais baixos. Os custos de contrôlo de drenagem são específicos aos locais onde o trabalho estiver a ocorrer.

Há grandes variações em termos de benefícios e custos para os agricultores, dependendo da disponibilidade de água e de terra, condições do tempo, condições de cultivo, atitudes em relação ao trabalho e/ou à força de trabalho e acesso aos mercados. Na tabela a seguir, apresentam-se as médias nacionais brutas e estas devem ser consideradas como sendo indicadores que podem apoiar numa monitoria comparativa. Os retornos constituem os valores que vão para os agricultores e não incluem os custos de extensão e de apoio à gestão do projecto. Estes últimos são tratados na análise económica do projecto.

Papel da Gestão de Água para a Agricultura	Benefícios	Custos	Rácio Custo-Benefício
	\$/ha/época		
Água Azul: época seca	2300	500	4.6
Água Azul: suplemento à época chuvosa/protecção contra período seco	350	200	1.8
Captação de água na época chuvosa	270	140	2.0
Agricultura de conservação na época chuvosa	740	170	4.4

Há outras técnicas que se propõem testar para avaliar se são economicamente viáveis em determinadas circunstâncias.

De forma particular, a testagem piloto de técnicas adicionais de gestão de água para a agricultura pode ser levada a cabo para testar a viabilidade das bombas de pedal, da irrigação gota-a-gota e a irrigação por aspersão (ou pivot). Contudo, o orçamento disponibilizado para esta testagem restringir-se-á à 10% do orçamento total alocado para custos de equipamento e insumos. Haverá maior apoio para estas técnicas somente se os testes provarem que elas apresentam um rácio de custo-benefício maior do que o que diz a análise que consta deste relatório.

Foram escolhidas três áreas para representar as principais zonas macro-ecológicas de Moçambique.

O Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura irá beneficiar da experiência existente no INGC em Caia (Zambeze) e Mabote (em Inhambane), que representam terras agro-ecológicas planas e secas. Ambas regiões são vulneráveis à mudanças climáticas, sendo Caia vulnerável à inundações e Mabote à seca. O projecto irá também trabalhar numa terceira região localizada no interior da Beira que servirá para demonstrar que tipo de tecnologias funcionam em condições de terras húmidas e/ou pantanosas e que se situam mais perto dos mercados. Para além disso, os trabalhos do projecto na Beira irão ajudar na comercialização de produtos provenientes de Caia e estará operacional uma componente a nível nacional para apoiar a micro-gestão de água destinada à agricultores subcontratados.

A extensão e gestão serão levadas a cabo por uma equipa de especialistas e engenheiros agrónomos nacionais que darão apoio ao pessoal do campo.

A nível nacional, haverá um Líder de Equipa que fará a coordenação de todas as actividades do projecto. Este trabalhará com outros três especialistas nacionais que cobrirão as seguintes áreas: engenharia agrícola, agronomia e práticas de gestão/avaliação agrícola. Estes, por sua vez, serão apoiados por dois engenheiros de campo em cada zona de experimentação cobrindo engenharia agrícola e agronomia. Onde for possível, as actividades de campo serão levadas a cabo por agentes de campo do INGC e extensionistas do MINAG de modo a garantir sustentabilidade. Se necessário, há orçamento para empregar seis novos extensionistas. O projecto pagará os custos pelos extensionistas, incluindo motocicletas e *per diem*.

O projecto usará os métodos e/ou abordagens das chamadas “Escolas na Machamba do Camponês” (EMC).

As EMCs estão bem estabelecidas em Moçambique. Porque adoptam uma abordagem participativa, elas são ideais para demonstrar e promover a adopção das técnicas de gestão de água para a agricultura. Em cada uma destas três regiões centrais, o projecto trabalhará com 5 extensionistas, aos quais providenciará fundos para sua mobilidade e formação. Cada extensionista deverá trabalhar com 3 EMCs, muitas das quais deverão ser ainda criadas. As EMCs identificarão os beneficiários do projecto e estarão envolvidas na selecção dos locais e tecnologias de gestão de água mais apropriados. Os extensionistas trabalharão em estreita colaboração com as EMCs durante o primeiro ano de funcionamento e fornecerão um acompanhamento em termos de assistência durante o segundo ano.

O projecto apoiará um programa de formação desenhado a volta do modelo das “Escolas na Machamba do Camponês” e apoiará também a formação de extensionistas e de pessoal do projecto.

O modelo de formação das EMCs baseia-se em experiências tidas em Moçambique e em outras partes do mundo, com uma série de 10 sessões por época e com financiamento para materiais de formação e despesas com os agricultores e formadores. Para além disso, haverá duas sessões de formação por ano para engenheiros de campo e outras duas para extensionistas, ambas organizadas na Beira. Serão também realizados dois seminários por ano para uma participação alargada em cada uma das três regiões centrais e dois a nível nacional. Por último, realizar-se-ão dois seminários particulares todos os anos em cada uma das regiões, destinados a dar uma oportunidade ao sector privado para envolver-se com os beneficiários do projecto.

O projecto deverá ajudar cerca de 3400 agricultores na introdução de técnicas de gestão de água para a agricultura em cerca de 600 hectares ao fim de três anos.

Para cada EMC, os extensionistas deverão envolver 25 agricultores em alguma forma de gestão de água. Cerca de 20 destes serão agricultores vulneráveis de pequena escala que cultivam áreas menores de 0.5ha com uma experiência limitada em termos de comercialização do excedente da sua produção e com poucas poupanças familiares que lhes puossam ajudar a sobreviver anos de seca ou de inundações. Por outro lado, cerca de cinco desses agricultores serão agricultores estáveis, normalmente cultivando áreas de pelo menos 1ha e com alguma experiência em termos de comercialização de excedentes. O número de locais a aplicar a gestão de água para a agricultura dependerá das tecnologias adoptadas. Algumas tecnologias requererão o estabelecimento de uma cooperação entre grupos de agricultores. Esperar-se-á que os agricultores estáveis usem técnicas de gestão de água em cerca de 0.5ha, enquanto os agricultores vulneráveis deverão usá-las somente em 0.1ha. Isto quer dizer que cerca de 4.5ha receberão novas técnicas de gestão de água em cada EMC. Com um total de 45 novas EMCs em cada ano, isto significa que anualmente introduzir-se-á 200ha de terra cultivada utilizando novas técnicas de gestão de água.

Os principais benefícios que advirão em época seca em Caia e na Beira serão os legumes ou hortícolas.

Em Moçambique, os níveis de cultivo de cereais (principalmente milho e arroz) e legumes não são tão altos para justificar os custos de um nível micro de gestão de água para a agricultura durante a época seca, a não ser que os agricultores coloquem um valor muito baixo sobre o seu trabalho e/ou que os produtos sejam valorizados muito acima do preço do Mercado. Para legumes ou hortícolas, a irrigação na época seca pode ser altamente rentável com margens de cerca de US\$2000/ha/época, dando rácios de custos vs. benefícios de até 5. Em ambos casos, os

benefícios são dependentes da colocação dos produtos no Mercado. O projecto fornecerá alguma assistência para ajudar no estabelecimento de redes de comercialização para a Beira e outros grandes centros de consumo.

A irrigação suplementar poderá constituir um bónus útil.

Os benefícios da irrigação suplementar irão variar dependendo do nível de queda de chuvas. O valor dos benefícios irá variar de entre o valor total da safra em anos de seca e zero em anos normais. Dadas as probabilidades da seca e dos prejudiciais curtos períodos de seca em Moçambique, a média anual de perda de produção devido a falta de queda de chuvas na época chuvosa situa-se provavelmente entre 20% e 30% da produção normal. Para o milho e legumes, isto irá produzir benefícios de cerca de USD300/ha/época se relativamente a custos da gestão de água para a agricultura de cerca de USD500/ha/época. Assim, o investimento em tecnologias de gestão de água para a agricultura não deveria ser feito na base do seu papel na suplementação da produção em anos de seca, a não ser em casos onde se trate de culturas de alto rendimento. Contudo, o equipamento comprado essencialmente para a produção durante a época seca pode ser útil para a irrigação suplementar.

Espera-se que a captação de água aumente a produção numa média de 20%.

Não há nenhuma evidência quantitativa em Moçambique sobre o impacto que a captação de água tem sobre a produção e mesmo a nível internacional tal evidência apresenta-se limitada. Para estimar os benefícios provenientes da captação de água e fornecer um indicador para efeitos de monitoria, assume-se que a produção deverá aumentar até os 20%. Estes números baseam-se em dados obtidos no Malawi e são portanto aplicáveis às áreas mais secas de Moçambique, onde as condições são semelhantes às encontradas no Malawi. Para cereais e legumes, os benefícios deveriam chegar a cerca de USD200/ha/época, se comparados com o custo médio anual de USD140/ha/época.

A agricultura de conservação é altamente variada mas a maior parte de evidências sugerem que a produção pode aumentar até 40% logo que os novos sistemas forem estabelecidos.

Há um grande âmbito de técnicas envolvidas na agricultura de conservação com muitos modelos e práticas diferentes. Um aspecto muito importante e comum de todas as técnicas é a necessidade de se evitar a lavoura e o uso de culturas/material de cobertura verde e ciclos de culturas, incluindo a possibilidade de acréscimo de uma cultura extra ao calendário Agrícola. Houve uma avaliação de dados provenientes de uma série de projectos em Moçambique, de várias avaliações na África Austral e de trabalho feito noutras partes da África Sub-Sahariana e do mundo inteiro (ver Quadro 4.2). Isto sugere que a agricultura de conservação pode aumentar a produção entre 50% e 100%. Os principais custos da agricultura de conservação estão associados aos riscos de produção reduzida nos primeiros anos do projecto. Os custos anualizados no que diz respeito a provisão de retornos à produção perdida são estimados em 12% da produção normal, sugerindo assim um rácio de custo-benefício de cerca de 3.5.

O projecto fornecerá subsídios para estimular a adopção das técnicas de gestão de água para a agricultura.

Enquanto as técnicas de gestão de água para a agricultura traz bons resultados, os agricultores que trabalham nas áreas do projecto apresentam recursos financeiros limitados e poucos têm poucas probabilidades de conseguir investimentos e outros custos envolvidos. Para os agricultores mais vulneráveis, requerer-se-á um subsídio de 90% para investimentos e um subsídio de 50% para combustíveis e insumos agrícolas. Para os agricultores estáveis, dar-se-á um subsídio de 50% para investimentos, mas não haverá subsídio para custos de operação. A

agricultura de conservação envolve algum trabalho e insumos, e em muitos casos há uma produção reduzida nos primeiros anos, enquanto se estabelecem novas práticas, se melhoram os solos e se controla o capim. Poucos agricultores são capazes de aguentar tais níveis reduzidos de produção e por isso há um grande nível de desistência do programa durante os primeiros anos. O Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura irá lidar com este aspecto fornecendo um pacote duplo de insumos para cobrir tanto a terra que se encontra sob a agricultura de conservação como uma área comparável de terra sob o cultivo convencional.

Não será possível depender do sector privado para abastecimento aos agricultores, se bem que os empresários serão encorajados nesse sentido.

Por causa da condição financeira da maior parte dos beneficiários do projecto, não é possível ao projecto depender exclusivamente do sector privado para abastecer directamente os agricultores durante o primeiro ano da adopção das práticas de gestão de água para a agricultura. Contudo, a sustentabilidade das práticas de gestão de água dependerá da capacidade que os agricultores terão em estabelecer os seus próprios contactos com o sector privado depois do primeiro ano do projecto. O projecto facilitará uma maior actividade dos fornecedores do sector privado nas áreas abrangidas pelo projecto. Haverá alguns incentivos; uns temporários e outros direccionados à comerciantes da Beira e Quelimane para encorajá-los a ter confiança em relação aos beneficiários do projecto como novas fontes de abastecimento de produtos. A actividade de extensão do projecto irá também ajudar os beneficiários a pedir empréstimos em instituições financeiras privadas.

O orçamento total do projecto é de USD2.5 milhões.

As actividades de extensão e de gestão/administração do projecto vão absorver 49% do total dos custos, a formação absorverá 26% e os restantes 31% irão para equipamento e insumos. As contribuições dos agricultores aos custos de equipamento e insumos irão reduzir os requisitos/as necessidades de financiamento até 6%. A tabela a seguir fornece um sumário dos custos do projecto:

	Custos em USD			
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Sumário				
Extensão e Gestão	513 300	360 800	350 800	1 224 900
Formação	183 630	234 170	234 170	651 970
Subsídios e Incentivos	253 434	253 434	253 434	760 303
Menos Contribuição dos Agricultores aos Custos	0	75 540	75 540	151 080
Total	950 364	772 864	766 864	2 484 093

Os projectos menores são também viáveis.

É possível adoptar a mesma filosofia do projecto e alcançar resultados semelhantes com projectos menores. Com efeito, apoiar actividades numa única área poderia reduzir custos de 30% à 40% dos custos totais do projecto. Uma equipa de três especialistas nacionais forneceria um apoio e gestão eficazes cobrindo as três regiões e trabalhando em estreita colaboração com os agentes extensionistas. A principal desvantagem desta abordagem é que ela iria somente funcionar numa das três grandes zonas agro-ecológicas e por isso iria fornecer poucos dados para um processo de gestão de água para a agricultura que se espera expandir a toda escala nacional. Poder-se-ia também enveredar por uma menor escala com um único especialista nacional a trabalhar com uns poucos agentes extensionistas. Isso reduziria os custos para baixo de 20% do custo total do projecto. Por causa da maior partilha de custos dedicada à actividade

de apoio e gestão do projecto, os resultados seriam mais baixos do que os resultados a alcançar pelas versões maiores do projecto. Contudo, haveria a possibilidade do especialista nacional se concentrar na viabilidade técnica das opções de gestão de água e deixar de lado as oportunidades que se oferecem aos sistemas agrícolas e as implicações para a sustentabilidade económica do projecto.

Quando os custos totais do projecto são tomados em consideração, a Taxa Interna de Retorno (TIR) estima-se em 24%.

Se os benefícios da irrigação suplementar na estação seca fossem incluídos, este valor poderia subir até 27%. A TIR é particularmente sensível à produção e aos preços obtidos pela produção de legumes na época seca. Há que referir que os legumes apresentam a maior parte dos benefícios do projecto. Por outro lado, aquilo que se pensa em relação ao custo do trabalho ou da mão-de-obra também têm um impacto sobre a viabilidade do projecto.

É difícil apresentar estimativas quantitativas do impacto das mudanças climáticas sobre a TIR.

As projecções sobre as tendências de temperaturas, queda de chuvas, CO₂ e ozono troposférico (ou ambiental) sugerem que a produção vai baixar na maior parte das zonas, embora uma melhoria da queda de chuva em algumas áreas possa levar a um pequeno aumento líquido. Se as Mudanças Climáticas reduzissem a produção média nacional até 10%, então a TIR desceria de 8 pontos percentuais até 16%. Contudo, se esta queda de produção fosse associada com o aumento nos preços de 10%, a redução na TIR seria em grande medida compensada. Uma descida da produção de cereais e legumes devido às Mudanças Climáticas apresentaria um efeito limitado sobre a TIR. As Mudanças Climáticas iriam provavelmente aumentar a TIR do projecto por três razões:

- Uma maior frequência e duração dos períodos secos na estação chuvosa aumentará o valor de protecção dos agricultores de tais riscos. Os modelos climáticos não produzem estimativas claras sobre a magnitude da frequência que subiu e a duração de períodos de seca durante a época chuvosa. Não é portanto possível estimar a extensão ou âmbito até o qual a TIR do projecto irá aumentar se houver uma subida no nível de risco de perdas de culturas do tempo chuvoso devido a seca. Contudo, se estes riscos fossem duplicados como resultado das Mudanças Climáticas, então a capacidade do processo de gestão de água poder proteger a produção de tais riscos acrescentados iria aumentar outros 3% à TIR do projecto;
- As Mudanças Climáticas irão provavelmente aumentar o diferencial entre épocas em termos de concentração do ozono troposférico. Isto significaria que o valor da produção irrigada da época seca seria relativamente mais alto e que teria tendência de aumentar os benefícios do projecto. Ainda não há estimativas sobre a mudança no diferencial entre épocas da concentração do ozono troposférico, mas é possível que isto possa levar o projecto a obter benefícios consideravelmente maiores.
- A capacidade dos agricultores trabalharem a terra acima da planície aluvial ou alagada significa que os agricultores apresentam poucas probabilidades de perderem culturas devido a inundações. A magnitude das perdas devido a inundações, a capacidade do processo de gestão de água poder apoiar o cultivo a partir da planície aluvial são questões muito específicas ao local e é difícil de prever.

O volume de água afectado pelo projecto de apoio à gestão de água para a agricultura é bem menor se comparado com o volume de água usado por outros utentes.

A irrigação com água azul requer um fornecimento de cerca de 6400m³/ha/época, levando a uma procura total pelo final do projecto de cerca de 1.6mcm/ano. Este volume de água será

captado em rios ou reservas de águas subterrâneas, algo que reduzirá a quantidade de água disponível para outros fins. As actividades de captação de água e da agricultura de conservação irão reduzir o nível de escoamento de água, mas o efeito líquido disso será muito provavelmente limitado dada a área envolvida. Com efeito, o volume de água envolvido no projecto é pequeno e é equivalente a cerca de 1 hora do fluxo do rio Zambeze.

4.2 INTRODUÇÃO E CONTEXTO

4.2.1 Introdução

Este documento foi elaborado pela subcomponente 4 do Tema 5 da Segunda Fase do Projecto “Respondendo às Mudanças Climáticas em Moçambique” coordenado pelo INGC. Esta segunda fase identifica 8 temas prioritários, nomeadamente (1) aviso antecipado; (2) protecção costeira; (3) cidades; (4) parcerias com o sector privado; (5) água; (6) comida; (7) preparação de pessoas e (8) estratégia nacional para as Mudanças Climáticas. Por sua vez, o tema 5 apresenta as seguintes subcomponentes: (i) um sistema de apoio à tomada de decisões; (ii) resistência à inundações; (iii) água urbana; (iv) água para a agricultura e (v) água para energia.

A subcomponente 4 é em grande medida independente das outras subcomponentes do Tema 5, excepto que uma das suas funções será a de fornecer estimativas sobre o uso de água feito no âmbito da aplicação de técnicas de gestão de água para a agricultura a serem integradas na análise do balanço hídrico nacional. Esta subcomponente toma também em consideração o trabalho do Tema 6 que aborda questões de estimativas de produção Agrícola e de comida (Holman 2011)

4.2.2 Contexto Internacional

Existe o consenso de que o desenvolvimento Agrícola representa um caminho fundamental rumo a um crescimento assente numa base alargada e mais abrangente, bem como um caminho que pode levar à redução da pobreza, tendo o potencial de beneficiar os mais pobres entre os pobres e contribuir para uma equidade de género melhorada (Banco Mundial 2008). Existe também cada vez mais um crescente consenso de que a gestão de água para a agricultura é um dos instrumentos fundamentais para a obtenção do desenvolvimento Agrícola sustentável (UN Water 2009; GWP 2010), especialmente quando se toma em conta as Mudanças Climáticas (World Resources Institute, UNEP et al 2011; Alavian, Qaddumi et al Nov. 2009). No contexto destas influentes declarações políticas internacionais, o processo de gestão de água na machamba, incluindo as culturas alimentadas com base em águas das chuvas, desempenha um papel fundamental.

Apesar da grande prioridade atribuída à gestão de água para a agricultura em compromissos internacionais, um estudo recente sugere que o investimento em termos de técnicas de gestão de água em África é muito mais baixo do que em outros continentes e que a política Africana se concentrou muito mais numa regulamentação do estilo *top-down* e no estabelecimento de preços de água e não o suficientemente no apoio de iniciativas locais pragmáticas e/ou na provisão de investimento público (van Koppen, Namara et al. 2005). O estudo demonstrou o forte e positivo impacto que a gestão de água para a agricultura pode ter sobre a produção na Tanzania e Madagáscar, para não falar do grande impacto que houve sobre os rendimentos.

O crescente interesse internacional sobre a agricultura e a água sugere que um projecto para apoiar a gestão de água para a agricultura em Moçambique está de acordo com prioridades internacionais. Contudo, os desafios de tal projecto são ilustrados pela experiência obtida nas primeiras décadas de desenvolvimento quando a agricultura recebia uma grande parte do total dos esforços da actividade de desenvolvimento. Os projectos de irrigação dos anos 70 tiveram menor nível de sucesso do que projectado, em parte por causa da complexa inter-ligação dos factores que afectam as decisões sobre a agricultura e em parte por causa dos custos de gestão não sustentáveis. Como resultado, muitos doadores reorientaram-se para Projectos Integrados de Desenvolvimento Agrícola. Estes também não tiveram êxitos e estiveram sempre a lutar para atingir algum nível de sustentabilidade. Muitos doadores então saíram da agricultura por completo e os que ficaram mudaram para uma abordagem mais sectorial, concentrando-se no estabelecimento de políticas e de uma capacidade institucional. Toda esta experiência demonstra os desafios enfrentados na abordagem de dimensões sócio-económicas no âmbito do desenvolvimento Agrícola.

Há, contudo, uma grande diferença entre a situação em 2011 e aquela que existia nos anos 80, quando os Projectos Integrados de Desenvolvimento Agrícola lutavam para alcançar algum impacto. Hoje em dia, a agricultura é mais rentável do que na década de 80, quando baixos preços de alimentos a nível mundial eram acompanhados por políticas macro-económicas distorcidas que resultavam em importações muito baratas de alimentos. O potencial para um maior nível integrado de apoio deveria portanto ser reavaliado. Se bem que não é ainda possível estabelecer um projecto Integrado de desenvolvimento agrícola moderno e de larga escala baseado na micro-irrigação, o actual projecto já, no entanto, inclui algumas actividades direccionadas para apoiar os sistemas financeiros e de comercialização de modo a complementar o apoio às técnicas de cultivo.

A Avaliação Abrangente do Gerenciamento de Água na Agricultura feita pela FAO dá uma grande ênfase à importância da melhoria da agricultura de sequeiro, incluindo melhorias no uso da água das chuvas, gestão da humidade do solo e da irrigação suplementar (FAO 2007).

4.2.3 Contexto Nacional

Desenvolvimento Nacional. Moçambique tem sido um dos mais bem sucedidos países de África na última década, com um rápido crescimento económico e redução dos níveis de pobreza, que por exemplo desceram de 69% em 1995 para 55% em 2008. O crescimento tem sido gerado tanto por um por investimeto do sector público e pelo investimento privado, incluindo vários mega-projectos. O investimento do governo tem sido guiado por dois Planos de Acção para a Redução da Pobreza Absoluta (PARPA I e II). Um terceiro PARPA – PARP 2011-14 – foi aprovado em Maio de 2011. O PARPA II definiu várias prioridades que cobrem crescimento e redução da probreza; governação (incluindo a justiça, transparência e gestão de calamidades); capital humano (incluindo a educação, saúde, água e saneamento) e a economia (incluindo o desenvolvimento rual, negócios e comércio e investimentos). O primeiro objectivo geral do PARP 2011-14 é a melhoria da produção e produtividade na agricultura e pescas e as acções prioritárias para atingir esse objectivo incluem um melhor acesso à água para a agricultura. As estratégias do sector ligadas à agricultura aparecem descritas mais abaixo nesta secção.

O crescimento económico descrito anteriormente trouxe uma grande pressão sobre os recursos naturais, incluindo a terra, as florestas e pescas. Tendências recentes a nível mundial em relação

ao preço de alimentos e energia criaram ainda mais pressão para expandir a produção agrícola tanto para a obtenção de alimentos como para biocombustíveis.

Condições agro-climáticas. As opções para o desenvolvimento Agrícola são determinadas por condições agro-climáticas que variam desde condições tropicais e subtropicais existentes respectivamente no norte e centro do país até as da estepe semi-árida seca e clima desértico árido seco no sul do país. As zonas mais quentes encontram-se na bacia do Zambeze e na linha costeira de Cabo Delgado, Nampula, Zambézia e Sofala. A zona Sul é a parte mais fria do país. As temperaturas máximas médias situam-se entre 30°C e 19°C, respectivamente.

A estação chuvosa vai de Outubro à Abril. A precipitação varia desde a costa à terras do interior e desde o norte ao sul do país. A queda média de chuvas é de entre 800mm e 1000mm ao longo da costa, contudo com valores acima de 1200mm entre a Beira e Quelimane. A chuva diminui no interior chegando a atingir somente 400mm na fronteira com a África do Sul e Zimbabwe. A parte norte e central do país apresenta uma média anual de queda de chuvas situada entre 1000mm e 2000mm por causa da monção noreste e de altas montanhas. No interior do sul país, a média de queda de chuvas é de 500mm à 600mm. A evapotranspiração situa-se entre 800mm e acima de 1600mm, com altos índices na bacia do Zambeze e ao longo da zona costeira e baixos índices na parte central do Niassa e na fronteira com o Zimbabwe. O provável impacto das Mudanças Climáticas sobre estes valores foi abordado durante a Fase I do actual projecto do INCG. No entanto, este mesmo é discutido um pouco mais adiante nesta secção, bem como analisado na Secção 4.4.4.

Para efeitos do projecto, o país pode ser dividido em três zonas agro-ecológicas básicas com cada uma delas apresentando um potencial distintivamente diferente em termos de tecnologias de gestão de água para a agricultura.

- *Zonas de terras secas* são caracterizadas por níveis de chuvas baixos e irregulares, predominância de culturas de sequeiro e sem um acesso fácil à fontes de água de superfície e muitas vezes com um acesso limitado às água subterrâneas de boa qualidade.
- *Terras húmidas, terras baixas, depressões e planícies aluviais* geralmente apresentam níveis maiores de queda de chuvas, inundações periódicas e águas subterrâneas pouco profundas. Muitas vezes, há boas perspectivas para o desenvolvimento agrícola, mas tais perspectivas devem ser balançados com a necessidade de proteger os ecossistemas frágeis.
- *Terras altas e fundos de vales* apresentam colinas e encostas com uma agricultura de sequeiro nas terras altas. Os fundos de vales podem ser inundados na época chuvosa, mas têm acesso à águas superficiais e subterrâneas apropriadas para a irrigação.

Recursos Hídricos. O Zambeze é o maior rio de Moçambique, com níveis de fluxo de cerca de 106 km³/ano ou cerca de metade do total de água que corre pelo país. Cerca de 88 km³ flue a partir de fora do país através das fronteiras, sendo o Rio Chire responsável por cerca de 6 km³/ano. A barragem de Cahora Bassa, com uma capacidade de 55 km³ estabiliza os fluxos sobre o Rio Zambeze e o fluxo do Chire é alimentado pelo Lago Niassa.

Apesar dos efeitos das barragens de Kariba e Cahora Bassa, ocorrem inundações no Zambeze e as últimas grandes cheias em 2007/08 resultaram numa grande destruição de culturas e infra-estruturas. Muitas das áreas de maior potencial Agrícola são as mais vulneráveis às cheias, incluindo o Triângulo de Inhangoma, com cerca de 40.000ha.

Os recursos hídricos são altamente variáveis, com um bom potencial no fundo dos vales, que se estende para zonas onde existem materiais mais grossos e aquíferos mais profundos. No rio Zambeze, poços e furos nos melhores aquíferos localizados no fundo dos vales produzem quantidades de água na ordem de 10m³/hr, o que é suficiente para irrigar cerca de 2.5ha.

Agricultura. A agricultura representa cerca de um ¼ do PIB (Produto Interno Bruto) e mais de ¾ de subsistência (MINAG 2011). Houve algum êxito em termos de melhoria da produtividade ao longo dos últimos dez anos, mas tal crescimento é ainda irregular e a respectiva produção continua baixa se se considerar aquilo que são os padrões da África Austral. A maioria dos agricultores tem machambas de menos de 2ha e dependem extensivamente de culturas de sequeiro, com poucos insumos e alta exposição à riscos de cheias e secas. As famílias usam uma grande variedade de métodos para obter segurança alimentar, incluindo o plantio de uma variedade de culturas e procurando uma variedade de fontes de rendimento. As machambas comerciais mais produtivas representam somente 5% da área cultivada (MINAG 2011) mas em contrapartida representam cerca de 1/3 do valor da produção, e constituem fontes importantes de rendimento no meio rural.

Moçambique é altamente vulnerável à variabilidade do clima. Com efeito, as cheias e secas tiveram um impacto severo em várias ocasiões ao longo da década passada. O impacto mais sério veio das secas que ao longo de uma década desde o ano de 2002 afectaram negativamente a produção em quatro anos. Nas zonas mais secas, as culturas apresentam um risco de 60% a 75% de fracasso total e os bons resultados são obtidos somente num entre três a quatro anos. Grandes inundações causadas por quedas extremas de chuva, tais como as que ocorreram durante as épocas 2000/01 e 2007/08 também levam ao fracasso de culturas, muitas vezes afectando as áreas mais férteis.

Para reduzir o risco de fracasso de culturas, os agricultores usam uma série de técnicas adaptadas às condições locais. Na Zambézia, as técnicas incluem o cultivo intercalar ou alternado de culturas, o plantio de culturas e variedades tolerantes à seca (especialmente de mandioca e sorgo) e de variedades de milho e sorgo de pequeno ciclo. Há alguma experiência de técnicas de conservação de água e de solo, incluindo cumes de contorno e sulcos ou valas, amplas camas de sementes e micro-bacias para semear milho. Dentro das planícies aluviais no Zambeze, é comum praticar-se a agricultura de recessão das cheias durante a época seca para produzir culturas de raízes profundas tais como o milho, feijão, sorgo, batata doce e algodão. No Zambeze, também pratica-se a agro-silvicultura, combinando árvores de fruta (mangueiras, cajueiros e bananeiras) com culturas arvenses, i.e., de regime anual.

Irrigação. A maior parte do financiamento público para a gestão de água para a agricultura que vem de fontes internas e externas foi dedicado ao desenvolvimento de regadios. Cerca de 100.000ha de projectos de irrigação foram desenvolvidos durante o período colonial quer por investimentos do estado como por investimentos privados e uma área adicional de 20.000ha foi desenvolvida pelo estado desde a independência. Em 1987, dois terços dos regadios estavam sob o controle estatal, 20% eram operados por agricultores de pequena escala e somente 15% eram detidos por empresas privadas. O governo tem sido incapaz de efectivamente operar e manter muitos dos projectos de irrigação, algo que tem resultado em falhanços em grande escala de muitos projectos e neste momento estima-se que somente 50.000ha de terra estão a ser irrigados (MINAG 2011). Como consequência, há agora mais ênfase sobre projectos de irrigação de pequena escala e 40% dos 50.000ha actualmente a ser irrigados são detidos por pequenos agricultores e por associações de utentes de água com somente 25% de tais projectos ainda detidos e geridos pelo governo e 35% detidos por privados.

Na bacia do Zambeze, a quantidade de água que pode ser captada do rio para irrigação e outros propósitos é limitada pela necessidade de manter fluxos para os delicados ecossistemas do delta. O Gabinete de Planificação e Desenvolvimento do Vale do Zambeze tem um plano ambicioso para desenvolver 1.5 milhão de hectares de uma agricultura de irrigação intensiva, incluindo 0.6 milhão de hectares para arroz, o que requereria cerca de 20% do fluxo do rio.

Apesar do investimento na irrigação e do apoio à irrigação de pequena escala, os utentes de água em Moçambique têm-se confrontado com questões de gestão e manutenção das respectivas infra-estruturas. As condições de crédito e comercialização têm sido os grandes obstáculos. Não é ainda claro se a melhoria dos preços de produtos alimentares que está a acontecer desde 2008 terá algum efeito significativo sobre a viabilidade de regadios de pequena escala em Moçambique. Os regadios detidos por privados apresentam melhores resultados, incluindo os projectos de irrigação de açúcar (compreendendo 25.000ha) e de machambas de frutas e legumes que incluem um pequeno investimento em técnicas de gestão de água para a agricultura na machamba feito por milhares de pequenos agricultores. Apesar dos problemas enfrentados pelo governo e pelos regadios de pequena escala, estes projectos continuam a ser tidos como pilares para o desenvolvimento agrícola e segurança alimentar. Grandes investimentos públicos são dedicados ao desenvolvimento e reabilitação de projectos formais de irrigação, muitas vezes concentrando-se em projectos de pequenos agricultores e com grandes contribuições do Banco Africano de Desenvolvimento e do Banco Mundial, muito recentemente através do projecto PROIRRI que tem por objectivo apoiar a irrigação de 5000ha em Sofala, Manica e Zambézia entre 2011 e 2017.

Gestão de Água para a Agricultura e Micro-irrigação. A gestão de água e a micro-irrigação oferecem aos agricultores uma vasta série de técnicas para melhorar a eficiência com que a água é usada para a produção de culturas, permitindo-lhes deste modo fazer o melhor uso possível dos limitados recursos hídricos disponíveis. Algumas técnicas englobam o armazenamento de água que também ajuda os agricultores a sobreviver a seca e as inundações. Tendo em conta este potencial, a gestão de água para a agricultura está muito bem patente nas estratégias internacionais de desenvolvimento, redução da pobreza e resistência à mudanças climáticas (HLCWAEA 2008; NEPAD/CAADP 2009) e já houve vários grandes estudos que se debruçaram sobre os respectivos assuntos importantes (Turrall, Burke et al. 2011), desempenho recente (Banco Mundial 2007) e necessidades de investimentos (You 2008). O Programa Especial para a Segurança Alimentar da FAO também fornece apoio para a micro-gestão de água para a agricultura e o IWMI ([Instituto Internacional de Gestão de Água](#)) iniciou um projecto em cinco países promovendo técnicas de micro-irrigação em machambas para melhorar os níveis de subsistência dos pequenos agricultores.

Existe pouca informação que possa ajudar a quantificar o nível de utilização das técnicas de gestão de água e micro-irrigação em Moçambique. Pesquisas feitas ao nível do sector agrícola sugerem que a micro-irrigação de água azul não é comum, excepto em áreas peri-urbanas, mas que actividades de conservação de solo e água localmente adaptadas são muito comuns, tal como o são os sistemas de culturas que adoptam alguns princípios da agricultura de conservação. De acordo com distribuidores e importadores, houve um grande aumento na importação e venda de moto-bombas. Parcialmente, isto é atribuído ao uso urbano, mas tem sido reportado que as vendas para pequenos agricultores têm também estado a subir. As vendas de bombas de pedal são muito baixas, mas têm estado a subir principalmente devido à compras feitas por projectos.

É comum a prática de irrigação por meio de regadores por parte de pequenos agricultores que cultivam legumes perto das grandes cidades, especialmente Maputo e Beira. Fora dessas áreas, os regadores são usados somente em muito pequena escala para hortas de legumes nas casas.

Esforços para fornecer apoio público à micro-gestão de água para a agricultura ficaram restringidos à projectos de pequena escala e localizados. Dentro do quadro de projectos de mitigação da seca, várias ONGs têm estado a promover a agricultura por meio da irrigação através da introdução de bombas de pedal e sistemas de irrigação gota-a-gota. Apesar de, em teoria, as bombas de pedal parecerem atractivas, a experiência, na prática, apresenta resultados mais variáveis ou mistos. Com efeito, é raro ter-se agricultores a optarem por comprar bombas de pedal com os seus próprios recursos. As razões porque procedem desta forma são várias e nem sempre claras. O trabalho envolvido na operação de um bomba de pedal é mais árduo do que um regador e é muitas vezes levado a cabo por pessoas que podem ser capazes de encontrar trabalho alternativo. Em alguns casos, as bombas de pedal foram introduzidas com uma assistência técnica e acompanhamento inadequados.

Parece que há um grande potencial para aumentar a produção de arroz através de uma melhor gestão de água introduzindo a construção de diques e estruturas simples de desvio de água tais como as tradicionalmente praticadas na Ásia. A maior parte da produção de arroz é actualmente feita em áreas acidentadas e as terras húmidas e/ou pantanosas permanecem de sequeiro com poucos ou nenhuns projectos para melhor controle de cheias e controle de água através de diques. Já se obteve resultados significativos com a introdução de tecnologias de gestão de água através da agricultura de conservação e captação de água.

Práticas Agrárias. A agricultura contribui 23.5% de imposto sobre o valor acrescentado (IVA) e oferece trabalho à 80% da população economicamente activa, dos quais 60% são mulheres (MINAG 2011). De acordo com estatísticas oficiais sobre a produção, desde o fim da Guerra Civil em 1992, Moçambique teve avanços significativos no reestabelecimento da produção alimentar e ao nível nacional, o país é quase auto-suficiente na produção de cereais com a excepção de trigo e arroz. Contudo, este crescimento tem sido desequilibrado espacialmente e as calamidades naturais tais como as cheias e a seca constituem um factor importante para a insegurança alimentar temporária.

Em 2002, a área cultivada estimava-se em 4.4 milhões de hectares, dos quais 4.2 milhões são de terra arável e 0.24 milhões de hectares de terra encontravam-se sob culturas permanentes. Os pequenos agricultores ocupam 95% da área cultivada e produzem a maior parte dos alimentos (MINAG 2011). As machambas são pequenas, situando-se numa área média de 1.8ha e com um acesso muito limitado de irrigação, insumos, equipamento e serviços financeiros. Como resultado, os rendimentos e as margens de produção são baixos. Contudo, há um pequeno grupo de agricultores emergentes que estão a melhorar as suas machambas. Para além dos pequenos agricultores, há pequenas e médias empresas que se dedicam à produção de culturas de rendimento com muito melhor acesso à insumos e recursos financeiros, vendendo seus produtos aos mercados nacionais e de exportação e à agro-silvicultura. Tais empresas também oferecem um número significativo de postos de trabalho. O sector comercial oferece uma fonte importante de inovação e de transferência de tecnologia.

Em termos de valores, a mandioca é em grande medida o produto agrícola mais importante em Moçambique (avaliada em cerca de USD360 milhões). Somente quatro dos dez principais produtos agrícolas são alimentos, nomeadamente a mandioca, o milho (avaliado em USD 230 milhões), a batata-doce (USD 89 milhões) e as leguminosas (USD 37 milhões). Quatro são

culturas de rendimento: algodão (avaliado em USD170 milhões), tabaco (USD 120 milhões), castanha de cajú (USD56 milhões) e cana de açúcar (USD51 milhões). Dois são produtos animais: carne de porco (USD 92 milhões) e bife (USD 39 milhões). A importância da mandioca reflecte o alto valor que os agricultores dão à resistência à seca apesar do estatuto da mandioca ser o de alimento de último recurso. As culturas que estão a crescer de forma mais rápida em termos de área cultivada são a cana de açúcar, milho, tomate e banana. À estas seguem-se o arroz e a mandioca.

A maior parte das culturas moçambicanas são em grande medida produzidas em condições de sequeiro (i.e., dependente da queda de chuvas) com poucas ou nenhuma técnicas de gestão de água para a agricultura. Estas condições são muito vulneráveis à variável natureza sazonal das chuvas, tornando desse modo difícil qualquer planificação de actividades agrícolas, mesmo durante anos em que a queda de chuvas tenha sido regular. Com efeito, muitas vezes, os períodos de seca que ocorrem durante o período de crescimento das plantas reduzem consideravelmente a produção e produtividade, de igual modo que muita chuva também pode afectar negativamente as culturas quer de forma directa, quer através de cheias. Consequentemente, a produção de culturas tem sido variável em condições de sequeiro. Para o milho, os níveis médios de produção em anos que sejam bons têm-se situado acima do dobro dos níveis alcançados em anos não bons. O nível de leguminosas é também altamente variável. Outras culturas são menos afectadas, quer porque são mais resistentes à seca (por exemplo, a mandioca e o sorgo) ou porque são parcialmente irrigadas (por exemplo, a cana-de-açúcar e legumes). Tudo isto contribuiu para a volatilidade dos preços de alimentos. Espera-se que as mudanças climáticas aumentem a frequência de eventos extremos e os períodos da queda de chuvas.

Os agricultores moçambicanos usam vários métodos para atenuar riscos, cultivando diferentes culturas e semeando em diferentes momentos. A irrigação formal fornece uma valiosa protecção contra as Mudanças Climáticas mas somente cerca de 3% da terra cultivada encontra-se preparada para efeitos de irrigação e na verdade somente 1% dessa terra encontra-se a ser irrigada. A melhoria da irrigação está a ser considerada pelo Projecto PROIRRI cujo principal enfoque está na reabilitação de pequenos projectos de irrigação e não promove de forma directa as técnicas de gestão de água para a agricultura. Há ainda uma grande falta de trabalhos de controle das cheias, com grandes áreas férteis sob risco de cheias recorrentes.

Estado de Mudanças Climáticas. Moçambique tem sido a nível de iniciativas internacionais um importante país em termos de ajustamento à Mudanças Climáticas. A Primeira Comunicação Nacional à UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas) foi produzida em Junho de 2006 e o Plano de Acção Nacional para a Adaptação às mudanças Climáticas foi elaborado em 2007 (MICOA 2007). Moçambique é um dos nove (9) países abrangidos pelo Programa Piloto para a Resistência Climática (Governo de Moçambique 2011).

Impacto das Mudanças Climáticas na Agricultura. Foram realizados três estudos que avaliaram o impacto das Mudanças Climáticas na agricultura que a seguir descrevemos:

- Em 2009, a primeira fase do Estudo do INGC incluiu um capítulo escrito por Marques et al que se debruçava sobre ‘Impactos das Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sócio-Económico sobre o Uso da Terra e Cobertura de Terra – Efeitos Potenciais sobre a Produção e Produtividade Agrícola’ (INGC 2009)
- O INGC colaborou com o Banco Mundial num estudo sobre a Economia da Adaptação à Mudança Económica (EACC) que veio à luz em 2011 (Banco Mundial 2010; Brito

2011);

- O Tema 6 da Segunda Fase do estudo do INGC incluiu um trabalho adicional sobre o impacto das Mudanças Climáticas na Agricultura (Brito 2011, Holamn 2011).

A análise feita por Marques et al no estudo do INCG da primeira fase usou 3 dos 7 Modelos Globais do Clima (GCMs) que foram incluídos no estudo do INGC especificamente seleccionados para representar condições médias ou regulares, chuvosas e secas. Foi usada uma abordagem de zoneamento de culturas baseada em modelos de adequabilidade de culturas do IIAM para mostrar quão mais provável é para os agricultores em mudar culturas do que mudar os níveis de produção/produktividade. O estudo concluiu que era preciso levar a cabo outros estudos depois de ter alcançado as seguintes conclusões preliminares: a mandioca está a tornar-se menos propícia no norte e mais propícia no centro e sul do país; o sorgo, milho, algodão e amendoim são em geral marginalmente propícios na maior parte das regiões e a soja está a tornar-se mais propícia no centro e no sul do que no norte do país. O estudo recomenda uma resposta do sector público mais coordenada e uma melhor parceria com o sector privado. Para a agricultura, o estudo recomenda projectos-piloto que se debrucem sobre a questão de “como produzir mais com poucos recursos”. O enfoque nesse processo deverá o de tentar encontrar respostas para as condições climáticas cada vez mais variável, a crescente degradação do solo, os cada vez mais reduzidos níveis de água reduzida e de fertilizantes.

O estudo coordenado pelo INGC e pelo Banco Mundial usa todos os sete (7) Modelos Globais do Clima (GCM) que produzem previsões relativamente consistentes para a temperatura mas uma grande variedade de resultados para a chuva que vai de 20% de redução à 30% de aumento do nível de queda da chuvas. Este quadro de resultados é normal para países que se encontram na margem de importantes sistemas globais de clima. A resposta de culturas é analisada através do modelo de CliCrop com um Modelo Global de Clima, estimando-se a evapotranspiração diária a partir da chuva e temperatura. A análise sugere que o efeito líquido da mudança de temperatura e de chuva será mais negativo principalmente por causa da maior evapotranspiração associada com maiores temperaturas e maior concentração de chuva durante o período de crescimento das plantas. O estudo também sugere que na maior parte dos casos a recarga da água subterrânea será consideravelmente maior com as Mudanças Climáticas do que sem elas, embora a bacia média do Zambeze constitua uma grande excepção.

Para o milho, estima-se que o efeito global esteja ao nível de 11% de redução da produção ao longo de todo o país, com algumas áreas a subirem e outras a baixarem os seus níveis de produção a um nível que poderá atingir os 25% ou mais, tal como se ilustra na *Figura 4.1* em baixo. As áreas com produção agrícola em queda são a bacia do Zambeze em Tete, a costa à volta de Vilanculos, Pafuri – um dos locais mais secos do interior da Provincia de Gaza e à volta de Marracuene. O modelo do CliCrop sugere que haverá uma pequena mudança em termos do período de crescimento mas que a data de sementeira terá um atraso de cerca de 10 dias.

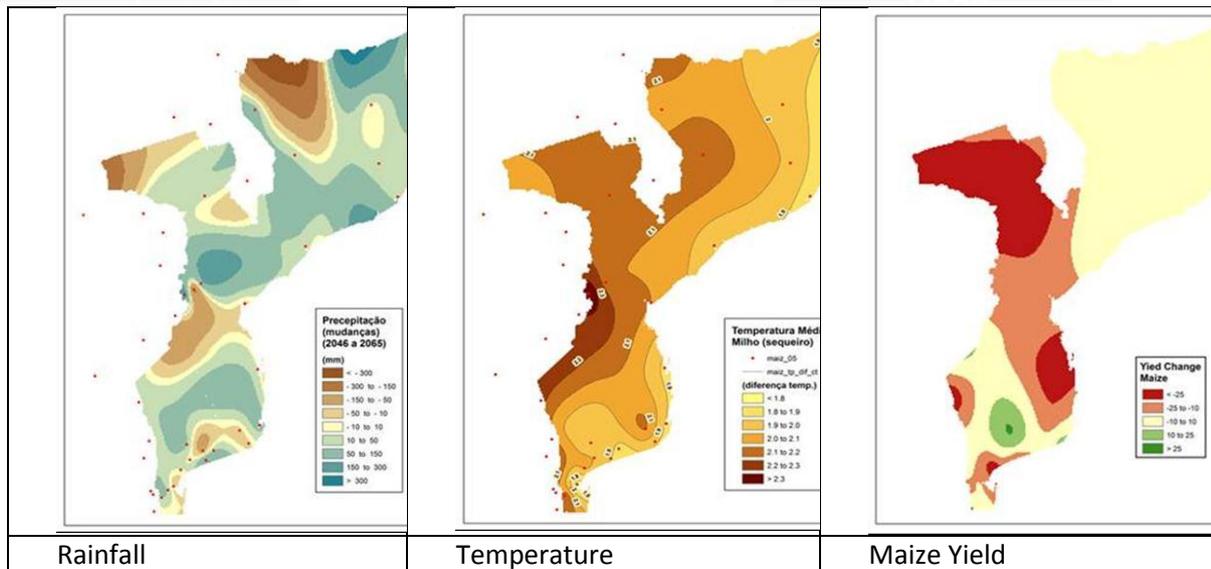


Figura 4-1: Impacto da Mudança Esperada de Evapotranspiração sobre a Produção de Milho

Fonte: (Brito 2011)

Conclusões de certa forma diferentes foram alcançadas pelo Tema 6 da Segunda Fase do estudo do INGC que também lida com o impacto das Mudanças Climáticas sobre a agricultura (Brito 2011; Holman 2011). O relatório do Tema 6 ainda não foi publicado mas sugere que haverá uma redução global em termos de produtividade de 19%, com um efeito de fertilização de CO₂ que em muito compensou os 8% previstos em termos de temperatura, 19% da mudança dos níveis de ozono troposférico e 6% de mudança do equilíbrio (Precipitação-Eta) devido a mudanças na queda de chuvas e de Eta resultantes do aumento de temperaturas. Estes números representam a média para todas as culturas ao longo de todo o país e há grandes diferenças entre culturas e regiões.

Esta situação será exacerbada pelo aumento de intensidade e frequência de ciclones resultantes das Mudanças Climáticas. No entanto, há que referir que os estudos não abordaram ciclones e por isso os seus efeitos sobre a produção de culturas não foram incluídos na análise. O impacto das mudanças climáticas sobre pragas e doenças não foi também incluído na análise.

Estratégias do Sector em Moçambique. Ao longo da última década, o financiamento público para o sector Agrícola em Moçambique foi dominado pelo PROAGRI I e PROAGRI II que coordenavam as despesas feitas na agricultura pelo governo e a maior parte dos doadores (com a excepção do BAD e do FIDA). O programa PROAGRI constituiu um dos casos mais abrangentes de apoio orçamental ao sector no mundo e tinha um enfoque particular sobre o reforço institucional e dos serviços agrícolas. A abordagem do PROAGRI foi suplementada pelo Plano de Acção de Produção Agrícola (PAPA) em 2008 (Governo Moçambicano 2008) que foi elaborado pelo Conselho de Ministros e descreve um vasto âmbito de serviços destinados a cumprir metas de produção em relação a 8 produtos principais.

O PROAGRI foi recentemente substituído pelo PEDSA (MINAG 2011) que define 5 objectivos estratégicos relacionados com a produtividade, mercados, uso sustentável de recursos, quadro de investimentos e reforço institucional. O primeiro objectivo estratégico contém 8 resultados, dos quais um tem a ver com a melhoria da Gestão de Água para a Agricultura e os outros quatro relacionam-se com técnicas agrícolas melhoradas que possam envolver as técnicas de gestão de

água. Para além disso, em 2010 o Ministério da Agricultura elaborou uma Estratégia de Irrigação (MINAG 2010).

A Estratégia Nacional para a Gestão dos Recursos Hídricos foi aprovada em 2006 e ela introduz os princípios para uma boa gestão de recursos hídricos. Uma Estratégia Nacional de Irrigação foi elaborada em 2010. Para irrigação de pequena escala, esta estratégia reconhece que o governo tem um papel importante a desempenhar no financiamento de novos investimentos em termos de infra-estruturas de pequena escala e apoio à agricultores para desenvolverem a sua capacidade de gerir por si próprios pequenos projectos de irrigação, i.e., sem o apoio do governo.

O Conselho de Ministros aprovou o Plano-Mestre de Prevenção e atenuação de Calamidades Naturais do INGC (PMPACN) em 2006. Este plano compreende três grandes aspectos: Equilíbrio hídrico (englobando provisões para o sector doméstico, a agricultura, energia, biodiversidade e protecção alimentar e reflorestamento); equilíbrio alimentar (englobando desenvolvimento varietal, diversificação e culturas de rendimento tais como as para biocombustíveis) e gestão de emergências (incluindo prontidão, actividades de salvamento e coordenação). O PMPACN define 4 metas (resistência à seca, redução de danos, redução de percas de vida e de sofrimento e rápido salvamento) e 14 acções, incluindo uma que diz respeito a disponibilidade de água para irrigação e outra virada para a agricultura de conservação. O PMPACN foi acompanhado por várias iniciativas de prevenção contra riscos de desastres/calamidades coordenadas pelo INGC.

A importância das técnicas de gestão de água para a agricultura não é sempre reconhecida. Um estudo recente sobre as prioridades de Moçambique focalizou-se sobre insumos, investigação, extensão, crédito e comercialização e quase que por completo negligenciou qualquer menção do papel da gestão de água para a agricultura (Coughlin 2006).

Moçambique possui um grande Projecto de Planificação e Finanças ao nível distrital (PPFD) que apoia o investimento no desenvolvimento económico local. Teoricamente, isto garante que o investimento local corresponda as prioridades locais. Contudo, um estudo recente questionou se os procedimentos de priorização davam atenção suficiente à importância que a questão da sustentabilidade deve ter no investimento de desenvolvimento local (Penninkhoff 2009). O estudo depois reportou que, até muito recentemente, o desenvolvimento local era dirigido por agências locais de desenvolvimento económico e mostrou que a grande maioria de projectos (26%) estava virada para a governação económica, estado o desenvolvimento empresarial em segundo lugar com 22% e o desenvolvimento de actividades de subsistência com somente 19%. Parece pouco provável que a gestão de água para a agricultura seja integrada de forma forte nas despesas da LEDA.

Em anos recentes, o papel dos governos locais foi enfatizado e estes já beneficiaram desde 2007 do Orçamento de Desenvolvimento de Iniciativas Locais. Inicialmente, esta iniciativa alocava 7 milhões de meticais por ano (cerca de USD250,000) à cada um dos 128 distritos do país, mas a alocação está agora ligada à população e à pobreza. As despesas totais ascendem a mais de 1000 milhões de meticais e isso representa cerca de 3% das despesas do governo. Os distritos definem as suas próprias prioridades e geralmente dão maior prioridade à questões de infra-estruturas. Os distritos também usam o programa de desenvolvimento de iniciativas locais para dar crédito à agricultores. Ainda não foi feita nenhuma análise sobre as despesas do programa, mas um estudo recente sobre despesas públicas na Agricultura considerou que 50% dos fundos do programa estavam direccionados para a agricultura, o que significava que este projecto

constitui a maior fonte de financiamento governamental para o desenvolvimento Agrícola (Banco Mundial 2011).

Programas e Projectos Relacionados em Moçambique. Existe um grande número de projectos que apoiam o desenvolvimento rural em Moçambique que estão envolvidos em certa medida na promoção da gestão da água para a agricultura a um nível micro. Nenhum desses projectos ainda levou a cabo alguma avaliação sistemática do impacto das técnicas de gestão de água sobre os níveis de produção ou sobre insumos, embora haja alguns dados parciais.

- Em 2007 o Banco Mundial elaborou uma estratégia de Assistência relativa a Recursos Hídricos em Moçambique que levou ao Programa PROIRRI com USD70 milhões para financiar 5000ha de irrigação (Banco Mundial 2007)
- O INGC está a implementar o DARIDA (Programa de Terras secas) que aborda a questão da disponibilidade de água a níveis reduzidos em terras secas e pretende beneficiar condições sócio-económicas e o ambiente.
- PROMEC (Promoção de Cooperativas de Agricultores Locais, 2001-05, €0.7 milhões) está implantado nos distritos de Buzi e Dondo em Sofala com financiamento austríaco. O projecto está virado para a promoção de oportunidades na comercialização Agrícola muitas vezes através da cooperação entre agricultores. O projecto foi complementado por um projecto de €0.4 milhões para a ORAM apoiar o cultivo de terra nos mesmos distritos, uma vez mais com o apoio austríaco.
- O Projecto de Irrigação de Pequena Escala (SSIP) foi estabelecido como um projecto do BAD com USD20.5 milhões e foi implementado entre 1999 e 2010 nas províncias de Maputo, Sofala e Zambézia e forneceu equipamento, extensão, crédito e apoio para a comercialização.
- O Corredor de Crescimento Agrícola da Beira (BAGC) recebeu ajuda de vários doadores e de agências de investimentos do sector privado. O seu objectivo é coordenar projectos no Corredor da Beira, bem como implementar o seu próprio Fundo Catalítico.
- O Programa para o Desenvolvimento Rural de Moçambique (PRODER) foi apoiado pela GTZ e implementado na província de Sofala pelo INGC. O PRODER é um grande programa de desenvolvimento rural que inclui a adaptação às Mudanças Climáticas e uma componente de gestão de calamidades.
- O governo financia cerca de USD20 milhões por ano à vários Fundos de Fomento sectoriais (FdF), principalmente em forma de crédito barato. O fundo de fomento Agrícola é o maior fundo existente no país e compreende entre 20% à 40% do total de todos os fundos de fomento existentes.
- O Programa de Desafio de Água e Alimentação do CGIAR (Grupo Consultivo em Pesquisa Agrícola Internacional) levou a cabo várias pesquisas, incluindo estudos sobre a Gestão Integrada de Recursos Hídricos levada a cabo por exemplo no Limpopo.
- O PROAGRI foi apoiado por projectos regionais de modo a estabelecer uma capacidade institucional no campo, incluindo APROS (€1.1m, em Sofala, com financiamento austríaco).

4.3 OBJECTIVOS E PERSPECTIVAS

4.3.1 Objectivos

Objectivo. O objectivo geral do projecto é aumentar a resistência dos pequenos agricultores em relação às Mudanças Climáticas, aumentando por isso a sua segurança alimentar e rendimento. Isto será atingido ajudando os agricultores vulneráveis a melhorar a sua gestão de água para fins agrícolas, permitindo-lhes cultivar culturas da época seca e/ou alcançar uma produtividade maior e mais confiável durante a época chuvosa. Ao longo do tempo, isto irá permitir a esses agricultores acumular poupanças e outros recursos que lhes irão ajudar a sobreviver períodos de seca e de inundações. O projecto irá também melhorar os níveis de subsistência dos agricultores estáveis que demonstrarão a viabilidade das técnicas de gestão de água para a agricultura aos mais vulneráveis.

4.3.2 Beneficiários e Áreas de Actividade

Beneficiários. O projecto trabalhará com dois tipos de beneficiários:

- Pequenos agricultores que são os mais vulneráveis às Mudanças Climáticas, incluindo as mudanças associadas à variações em termos de queda de chuvas, temperaturas mais altas e mudanças nos níveis de CO₂ e do ozono troposférico.
- Agricultores estáveis que são menos vulneráveis às Mudanças Climáticas e que são os mais capazes de usar as tecnologias de gestão de água para a agricultura de uma forma eficaz e rentável, em parte porque têm melhor acesso à insumos e aos mercados.

Esta abordagem dupla justifica-se por os agricultores estáveis virem a demonstrar aos agricultores mais vulneráveis a viabilidade das técnicas de gestão de água para a agricultura. Onde for possível, pedir-se-á aos agricultores estáveis a prestarem algum apoio técnico aos mais vulneráveis, potencialmente agindo como mentores e/ou agentes comerciais. Em alguns casos, o Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura dará uma assistência individual à cada agricultor, enquanto noutros casos, poder-se-á ter algumas estruturas e equipamento comuns detidos e usados por grupos de agricultores.

Áreas de Actividade. A adequação das várias tecnologias de gestão de água dependerá das condições agro-climáticas que determinarão em grande medida o sistema Agrícola e as culturas a implementar, bem como a disponibilidade de recursos hídricos para a produção Agrícola, incluindo a chuva, águas superficiais, e águas subterrâneas a serem utilizados. Um elemento importante das condições agro-climáticas é a variabilidade da queda da chuva, o que será afectado pelas Mudanças Climáticas. Tal como foi discutido na Secção 4.2.3., o presente projecto reconhece três zonas agro-climáticas básicas (terras secas, terras húmidas e terras altas com fundos dos vales) e apresenta locais já seleccionados que representam estes três tipos de zonas agro-climáticas.

O projecto irá funcionar em três principais áreas ou centros com uma componente que irá operar a nível nacional.

- Distrito de Mabote, no Norte de Inhambane existe uma área seca onde os pequenos agricultores estão particularmente vulneráveis à seca. As opções para se ter técnicas de gestão de água serão mais limitadas. O INGC tem estado a trabalhar em Mabote e tem alguma experiência útil que deve ser aproveitada.

- Distrito de Caia, na Província de Sofala, tem sido grandemente afectado por cheias e o INGC já ajudou muitas famílias de agricultores a se reinstalarem mesmo ao lado da planície inundada. Esses agricultores são geralmene vulneráveis, com muito poucos bens, mas que não têm acesso a boas terras e à possibilidade de ter a água bombeada do Rio Zambeze.
- O interior da Beira é uma região costeira húmida baixa com bom acesso aos mercados e um bom número de agricultores estáveis. Deveria haver boas oportunidades para o estabelecimento de técnicas melhoradas de gestão de água para a agricultura rentáveis que ajudem a estabelecer experiências com as técnicas e a estabelecer uma cadeia de abastecimentos. Ao se ter uma presença no interior da Beira, estar-se-á a ajudar o trabalho no Distrito de Caia, pois isso irá facilitar o apoio necessário para melhorar as oportunidades de Mercado para os agricultores de Caia.
- Para além destas três áreas principais, o projecto trabalhará em conjunto com um pequeno número de parceiros seleccionados do sector privado que estejam preparados para auxiliar na gestão das técnicas de gestão de água para a agricultura entre os pequenos agricultores contratados. O objectivo desta componente do projecto será o de estabelecer modelos de apoio às técnicas de gestão de água para a agricultura subcontratados para uma maior replicação.

A Figura 4.2 a seguir apresenta os quadros da queda de chuvas para as três regiões mostrando as diferenças em termos de queda total de chuvas e pequenas diferenças em termos de sazonalidade.

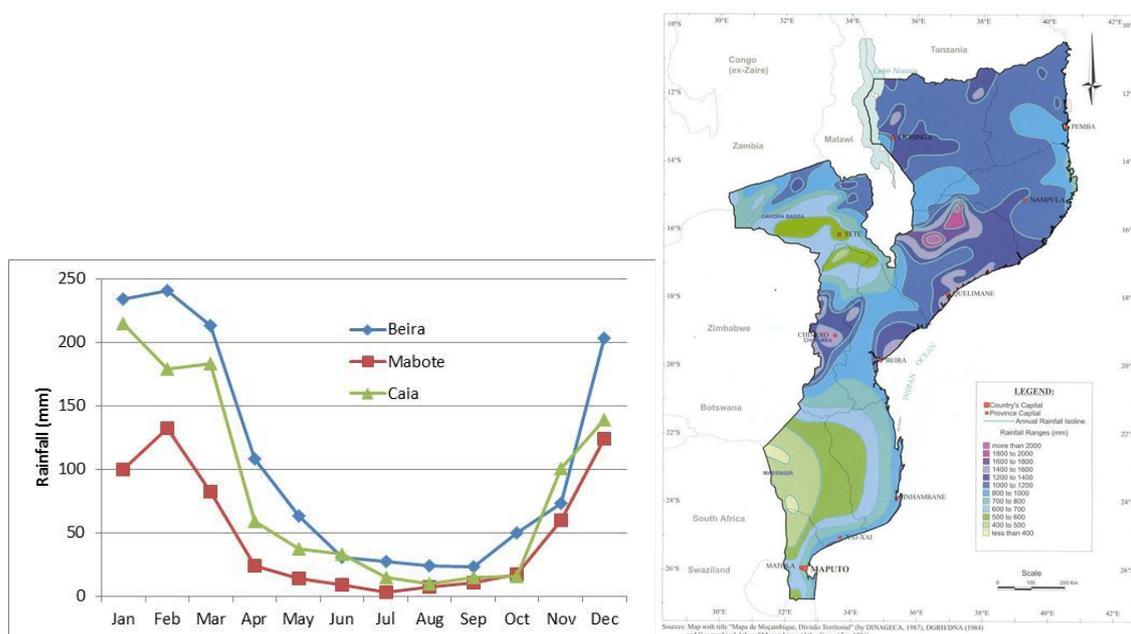


Figura 4-2: Mapa de Queda de Chuvas e Distribuição Mensal em Mabote, Caia e Beira.

Queda de Chuvas (mm) Fonte: CLIMWAT (gráfico) e (Brito, Holman et al. 2011)

Notas: no mapa, C = Caia, B = Beira and M = Mabote

A maior parte das técnicas de gestão de água azul para a agricultura será usada principalmente para culturas consideradas de grande rendimento, tais como legumes e fruta. As técnicas de captação de água e agricultura de conservação são mais amplamente aplicadas e deveriam também ser úteis para os alimentos básicos. A produção de milho encontra-se distribuída de forma uniforme à escala nacional, embora níveis potenciais de produtividade sejam maiores no

norte e centro do país do que no sul, tal como mostra a *Figura 4.3*. Os outros dois alimentos básicos, nomeadamente o sorgo e a mandioca estão concentrados mais no centro e norte do país. Não existem estatísticas de produção por distrito e os números de produção provincial incluem a grande variedade de zonas agro-ecológicas, com muitas províncias a cobrirem regiões costeiras e do interior, vales bem como planaltos/terras altas que geralmente são mais secas.

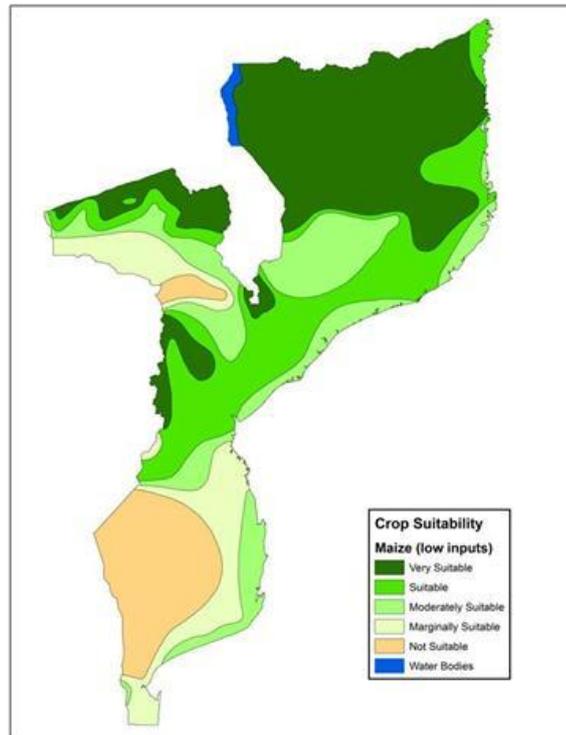


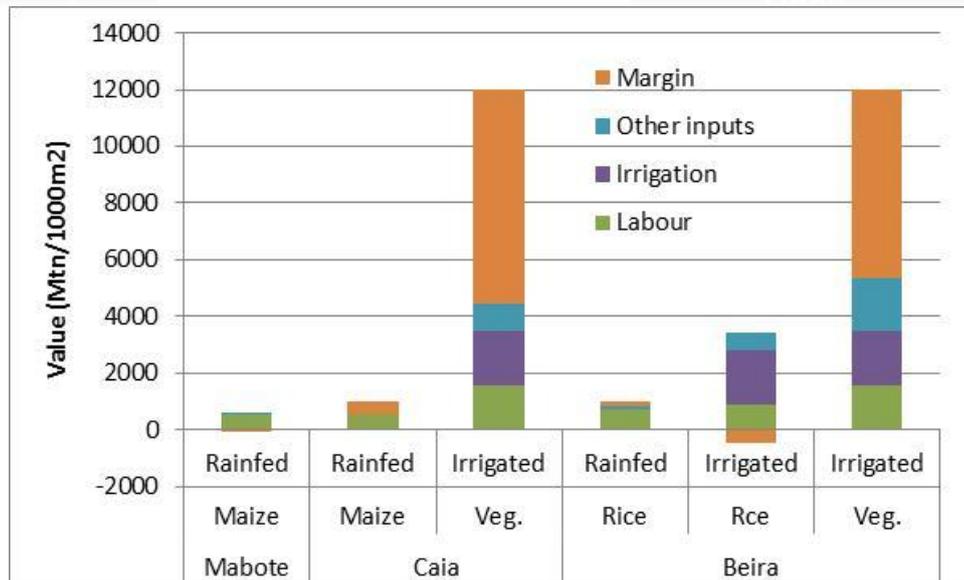
Figura 4-3: Variação em termos da produtividade de milho ao longo de Moçambique

Adequação de Cultura: Milho (Insumos Baixos)

Legenda do Verde Escuro ao Azul:

(1) Muito Adequado, (2) Adequado, (3) Moderadamente Adequado, (4) Marginalmente Adequado, (5) Não adequado e (6) Pontos de Água

Fonte: Adaptado da FAO/UNDP (1982)



Legenda: Rainfed – condições de sequeiro, Irrigated – à base de irrigação, Maize – Milho, Veg. – Legumes; Margin – Margens, Other Inputs – Outros Insumos; Irrigation – Irrigação; Labour – Força de Trabalho.

Figura 4-4: Custos e Margens Actuais de Culturas

Fonte: Estimativas da equipa baseados em várias fontes

Os três centros irão cada um operar com 15 extensionistas e cada extensionista irá trabalhar com 3 EMCs (Escolas na Machamba do Camponês) em diferentes locais. Estas estarão agrupadas para reduzir o tempo de viagem para os extensionistas, mas deverão provavelmente estar um pouco espalhadas de modo a se poder encontrar os locais mais promissores. Assim, o projecto trabalhará em 135 EMCs até ao final deste período. O projecto pretende fornecer apoio à 25 agricultores em cada EMC, dos quais 5 serão agricultores estáveis com 0.5ha ou técnicas de gestão de água para a agricultura e 20 serão agricultores vulneráveis com 0.1ha a beneficiar de técnicas de gestão de água, dando uma média de 0.18ha por agricultor por todo o grupo. Desta forma, a área total afectada será de cerca de 600ha. Estes planos são consistentes com o programa de custos e recrutamento de pessoal apresentado na Secção 4.7. A seguir apresentamos um sumário desta situação:

Tabela 4-1: Centros, EMCs, Beneficiários e Hectares

			Ano1	Ano2	Ano3
Centros/Região			3	3	3
Extensionistas			15	30	45
EMCs	3	/extensionista	45	45	45
Locais de gestão de água para a agricultura	3	/EMC	135	135	135
Agricultores	25	/EMC	1125	1125	1125
Agricultores vulneráveis	20		900	900	900
Agricultores estáveis	5		225	225	225
Hectares	0.18	/agricultor	203	203	203
Agricultores vulneráveis	0.1		90	90	90
Agricultores estáveis	0.5		113	113	113
Acumulado					
EMCs			45	90	135
Locais			135	270	405
Agricultores			1125	2250	3375
Hectares			203	405	608

4.3.3 Subsídios e Contribuição nos Custos pelos Agricultores

Não se esperará que os beneficiários cubram todo o capital do custo das técnicas de gestão de água, embora o apoio técnico fornecido pelo projecto venha a estar disponível aos agricultores que queiram comprar equipamento de gestão de água para a agricultura através de seus próprios recursos. Para os agricultores estáveis, o projecto procurará encontrar uma contribuição de 30% para o custo de capital e não fornecerá nenhum apoio aos custos de operação. Para a maior parte dos agricultores vulneráveis, o projecto procurará encontrar uma contribuição de 10% para os custos de capital e uma contribuição de 50% para custos operacionais. O subsídio para os custos de operação estará somente disponível no primeiro ano. O projecto poderá acordar receber a contribuição dos agricultores mais vulneráveis depois das colheitas. O projecto não se envolverá em actividades formais de crédito agrário mas ajudará os beneficiários a terem acesso ao crédito para as técnicas de gestão de água para a agricultura de qualquer instituição financeira rural que esteja disponível a oferecer tal crédito.

O facto de que os agricultores não virão a cobrir o custo total das técnicas de gestão de água não evitará que o projecto tente fazer com que todas as técnicas de gestão de água a ser introduzidas venham a ser auto-financiadas, logo que os beneficiários se decidirem sobre como melhor usar as técnicas de gestão de água dentro dos seus sistemas agrários.

Quadro 4.1: Experiência Anterior com Subsídios Rurais em Moçambique

A actual abordagem do INGC em Mabote e Caia fornece insumos aos agricultores gratuitamente e a a contribuição destes é em termos de actividades requeridas para a captação de água e outros trabalhos. Este incentivo é somente dado durante o primeiro ano e espera-se que os agricultores cubram todos os custos futuros a partir de rendimentos no primeiro ano.

Muito poucos pequenos agricultores beneficiam de serviços financeiros formais. Há cerca de 30 instituições de micro-finanças envolvidas no financiamento rural (por exemplo, a *World Relief International*, *CCP*, *CARE*, *Tchuma*, *SOCREMO* e o *Novo Banco*) mas somente 18% dos seus empréstimos vão para a agricultura e são em grande medida dependentes de subsídios (Coughlin 2006, Vletter 2006). Contudo, a micro-finança tem estado em rápida expansão e hoje ela vale mais de USD50 milhões. Um inquérito recente sugeriu que 75% dos operadores eram financeiramente sustentáveis e que as taxas de reembolso das instituições de micro-finanças são relativamente altas e que estão sempre acima dos 90% (Finscope 2009). É portanto importante que esta actividade que está em crescimento não seja minada por actividades do governo que oferecem um quasi-crédito, com pouca atenção para questões viradas para o pagamento de dividas. Para além da demanda pelo crédito, há evidências aneddotais de uma forte demanda por serviços associados com poupanças.

Entre 1986 e 2000, o Programa japonês KRII disponibilizou cerca de USD9 milhões para cobrir a quase totalidade das importações de fertilizantes e cerca de um terço de importações de pesticidas. Os beneficiários destes insumos deveriam pagar todo o valor CIF referente à importação (limitando-se assim o subsídio para cobrir custos de distribuição interna) e 67% do valor FOB em relação aos pesticidas. Os insumos eram destinados a pequenos agricultores e eram comercializados por companhias agrícolas comerciais. Contudo, houve uma sugestão no sentido de as próprias companhias poderem elas próprias usar os insumos e por isso não houve uma avaliação para apurar até que ponto os pequenos agricultores tiveram ou não acesso a esses insumos (Coughlin 2006).



4.4 TÉCNICAS DE GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA

O projecto funciona com uma longa lista bem como uma lista de referência de técnicas de gestão de água para a agricultura. A lista longa abrange todas as técnicas disponíveis, enquanto que a lista de referência selecciona as técnicas mais rentáveis para os agricultores. A maior parte dos esforços e recursos do projecto dedica-se às técnicas constantes da lista de referência. No entanto, vão ser disponibilizados até 10% de recursos para testar a eficácia em termos de custos de outras técnicas constantes da lista longa. Qualquer uma dessas técnicas que provar ser mais competitiva em algumas situações casos, vai ser adicionada à lista de referência e vai estar disponível para servir de suporte juntamente com as outras técnicas daí constantes. O projecto promove tecnologias de gestão de água para a agricultura para pequenos agricultores e não leva em conta os sistemas de irrigação de pequena escala (de 5 a 200 ha) abrangidos no âmbito do programa PROIRRI.

4.4.1 Técnicas Disponíveis de Gestão de Água para a Agricultura

As técnicas de gestão de água para a agricultura podem ser classificadas em três grupos:

- Técnicas de água azul (BW), que envolvem a captação e distribuição de água para o campo
- Captação de água e agricultura de conservação
- Técnicas de águas turvas para a drenagem de zonas húmidas

Uma descrição mais completa das técnicas de gestão de água encontra-se disponível no Livro de Referência de Gestão de Água para a Agricultura de Moçambique quem vem anexado à este documento.

Irrigação com água azul. Existe disponível uma série de técnicas de irrigação com água azul que o pequeno agricultor pode usar para fornecer água à sua produção em períodos de escassez de água durante espasmos de seca e na estação seca, bem como para proteger as suas culturas das águas provenientes das chuvas excessivas ou de inundações (IDE 2003; Water Aid 2012). Um resumo muito útil sobre a matéria é apresentado no Estudo sobre as Tecnologias de Controlo de Água nos programas da FAO para Segurança Alimentar que foirecentemente publicado por esta organização (FAO 2011).

As técnicas de água azul podem ser categorizadas em 5 aspectos, seguindo o fluxo de água através do sistema. O projecto vai considerar as seguintes técnicas:

A. Recursos Hídricos

- Captação de água subterrâneas usando poços abertos ou furos que são muitas vezes mais eficientes se forem alinhados (por exemplo, com anéis de betão para poços abertos). Estas fontes devem ser combinadas com alguma forma ou técnica de elevação, o que vai depender da profundidade dos poços. A captação pode ser restringida devido às mudanças sazonais no nível de água, e isso precisa de ser monitorado para se determinar o uso ideal das águas subterrâneas. Estas fornecem oportunidades para irrigação fora de época.
- Água de Superfície, de rios, lagos e nascentes. Na maior parte dos casos, estas exigem algumas técnicas de elevação. O uso de pequenas bombas para elevar a água dos rios para os campos circunvizinhos é a técnica mais comum de gestão de água para a agricultura. Em alguns locais, pode ser possível o uso de sistemas alimentados por

gravidade, através do uso de estruturas de desvio de entradas e com a possibilidade de adicionar pequenas represas ou reservatórios ou para a irrigação complementar em série.

B. Elevação de Água

- Os regadores dão a opção mais simples, integrando a elevação, a conduta e a irrigação numa única actividade. Eles envolvem pouco investimento financeiro, mas têm altos custos laborais.
- **As bombas de pedal** e as bombas do mão são mais eficientes do que os regadores para a irrigação e são relativamente mais baratas. No entanto, o nível de fluxo é pequena e servem para pequenas áreas, enquanto exigem uma mão de obra considerável.
- **Motobombas**, postas a funcionar à gasolina ou à diesel, têm resultados mais altos do que as bombas de pedal e ultimamente estão a tornar-se cada vez mais baratas de comprar. Os custos de funcionamento são significativos com os altos custos de combustíveis. As motobombas podem fornecer sucção até cerca de 7 m, mas podem fornecer uma pressão de elevação (ou seja, empurrar água) até 50 m. Uma vastasérie de bombas é projectada e produzida para diferentes níveis de fluxo, de aspiração e de alturas de elevação de pressão. As bombas que forem usadas em situações inadequadas fornecerão uma eficiência muito baixa e poderão ficar facilmente danificadas.
- **As electrobombas submersíveis** são mais caras de comprar em comparação com as motobombas, mas são mais baratas de operar e podem ser instaladas em poços e furos mais profundos. Elas podem ser usadas em profundidades de mais de 100 m, mas o volume de água produzido é inversamente proporcional à profundidade do poço e assim é raro que a água para agricultura seja bombeada de mais de 50 m. A rede eléctrica é raramente disponível e assim as electrobombas podem ser alimentadas por geradores à diesel (que são usados normalmente em profundidades de entre 10 e 50 m) ou por energia solar (que é usada normalmente em profundidades de até 20 m). Tal como as motobombas, as electrobombas são produzidas numa vasta série de especificações e o uso das bombas com um nível de fluxo e/ou altura de elevação errado pode resultar numa baixa eficiência e danos à própria bomba.
- Os moinhos de vento também são capazes de bombear a partir de poços e furos profundos, mas são mais caros de instalar, e estão sujeitos a regimes de vento variável e podem ser difíceis de manter.

C. Condução de água

- Os canais de gravidade terrestre são o método mais comum de condução de água para os campos. Eles são relativamente caros e podem incorrer em perdas significativas, especialmente com os pequenos fluxos de água relativos a maior parte de técnicas de gestão de água para a agricultura. O revestimento dos canais com tijolos ou cimento pode reduzir algumas perdas, mas resulta em substanciais custos de operação e manutenção.
- Os sistemas de distribuição canalizada oferecem uma alternativa atraente para o fornecimento de água bombeada e para o reservatório, pois eliminam perdas e são mais fáceis de manter. O investimento é significativo, mas traz um bom retorno.

D. Métodos de irrigação

- A irrigação de superfície com bacias, bordas ou sulcos é a forma mais comum de irrigação no campo, e envolve pouco investimento. No entanto, resulta em perdas elevadas, devido à infiltração irregular e evaporação. O nivelamento da terra e o controlo adequado de água de campo pode reduzir as perdas, mas envolve um investimento considerável. Os sulcos vão garantir uma melhor distribuição de água e reduzir as perdas de evaporação.
- A pulverização, aspersão e o gotejamento são métodos de irrigação localizados onde a água é trazida directamente para as plantas. Estes métodos podem ser altamente eficientes. Eles incluem o regador, bem como os sistemas comuns de irrigação gota-a-gota e por aspersão, onde a água do sistema de tubulação sob pressão é trazida para o campo e as culturas. As perdas são baixas, especialmente para irrigação gota-a-gota, onde o adubo pode ser adicionado à água. No entanto, os custos de investimento são elevados, variando de 3000 dólares americanos por hectare por aspersão para 6-9.000 dólares americanos para os sistemas de irrigação gota-a-gota. Além disso o bombeamento envolve consideráveis custos de energia, especialmente no caso de irrigação por aspersão, onde é necessária uma pressão de água de 30 metros.
- A mangueira flexível de jardim é uma atraente alternativa no caso de pequenas bombas ou reservatório. A mangueira permite que a água seja trazida para cada planta a partir de um determinado ponto ou hidrante, com pouco investimento. No entanto, ela exige uma considerável mão de obra, uma vez que a mangueira é movimentada manualmente.
- Um caso específico de irrigação do campo é o método de irrigação de sub-superfície onde através de uma cuidadosa gestão do nível de água, o lençol freático das águas subterrâneas é mantido dentro da zona de base. Este método foi usado com sucesso em solos de turfa, que exigem uma contínua condição submersa.

E. Gestão de água para as culturas

- A calendarização da rega é importante com o uso de qualquer técnica de irrigação com a água azul para garantir que a água seja fornecida à planta, no momento certo e nas quantidades e profundidades exactas. A concepção de qualquer sistema de gestão de água para a agricultura deve começar com a observância dos requisitos necessários para a irrigação de culturas. Isso requer conhecimento detalhado sobre o clima e chuvas. Existem procedimentos e programas informáticos para a informatização dos requisitos de irrigação, mas são pouco prováveis de ser úteis para uma micro-gestão de água para a agricultura. Existem várias técnicas para monitorar o teor de humidade dos solos e garantir uma pontual aplicação da rega.

Embora os agricultores possam adoptar algumas dessas técnicas individualmente, muitas vezes é necessário ou aconselhável o uso de uma combinação de técnicas. Exemplos de tais sistemas integrados estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 4-2: Exemplos de Sistemas Integrados de Gestão de Água para a Agricultura

Sistemas de irrigação	Fonte de água	Elevação	Conduta e distribuição	Irrigação de campo	Gestão de água para as culturas	Drenagem e controlo de inundações
Pequena horta	Rio	Regador	Regador	Regador	Calendário	Drenagem natural
Horta	Rio	Bomba de pedal	Sistema canalizado de baixa pressão	Mangueira	Calendário e agricultura de conservação	Drenagem natural
Sistema de barragem	Barragem de Terra	Motobomba	Canal revestido	Irrigação por sulco	Rotação e calendário	Drenagem natural
Irrigação de zonas húmidas	Poços abertos	Bomba de pedal	Pequenos canais de campo	Sulcos curtos	Calendário de irrigação	Drenagem controlada

O desempenho físico subjacente das técnicas de gestão de água para a agricultura foi testado em diferentes graus em todo o mundo e existe uma boa experiência das condições sob as quais esse desempenho pode ser alcançado. No entanto, a adopção de técnicas de gestão de água para a agricultura provou ser um desafio, muitas vezes devido à problemas com a integração das técnicas nos sistemas agrícolas existentes, especialmente onde as técnicas mais extensivas de cultivo são mais rentáveis. Novas técnicas têm sido promovidas por uma série de ONGs internacionais, incluindo a Approtec (Quênia); Enterprise Works (EUA); IDA (EUA); Practica (Países Baixos); Practical Action (Reino Unido) e W3W (Suíça). Tem havido alguma actividade desenvolvida por ONGs na área da gestão de água para a agricultura em Moçambique (incluindo uma pela Fundação Aga Khan), mas a maior parte das iniciativas no país vêm do Estado e são financiadas por doadores.

A principal experiência com técnicas de água azul em Moçambique inclui: regadores usados para regar legumes que obtiveram grande sucesso nos arredores das cidades com grandes mercados; bombas de pedal, que foram introduzidas por vários programas de ajuda e que obtiveram um sucesso limitado, sobretudo devido ao desempenho técnico e a mão-de-obra necessária e motobombas portáteis que têm sido adoptadas em algumas áreas onde há um forte mercado, mas estas exigem uma pressão extra em termos de manutenção e custos operacionais.

Existe alguma experiência com irrigação gota-a-gota em áreas agrícolas de pequena escala, mas geralmente, o sistema também não é usado devidamente pelos agricultores e estes o abandonam após o primeiro ou segundo ano, talvez por causa de problemas com a sua manutenção, roubos ou danos. Os sistemas por aspersão são amplamente utilizados em machambas comerciais, bem como em alguns sistemas de irrigação de pequena escala. No entanto, eles não são muito utilizados pelos agricultores de pequena escala devido aos custos, a complexidade e às pequenas dimensões das suas machambas.

Captação de água. A captação de água envolve uma variedade de técnicas para melhorar a proporção de precipitação que é usada como a evapo-transpiração de cultura (Peacock 2005). Em muitas áreas semi-áridas, mais de 75% da precipitação é perdida para o escoamento superficial e evaporação da superfície, mas esta relação pode ser reduzida abaixo de 50% com uma eficaz captação de água. As técnicas incluem barragens de terra (Stephens 2010), reservatórios de machambas, construção de diques de desvio, diques circulares e poços. Estas técnicas podem envolver micro-bacias hidrográficas, que são de fácil gestão para os agricultores

e possibilitam mobilizar a chuva que cai sobre os campos, bem como sistemas maiores que trazem água de terrenos vizinhos e muitas vezes exigem assistência externa (Awulachew, Merrey et al. 2005; UNEP 2005; AWF 2009; Oduobie 2010). Podem ser definidos quatro grandes tipos (UNEP 2005): i) captação de telhado, principalmente para uso doméstico; ii) concentração de escoamento em recipientes ou lagoas; iii) armazenamento em barragens de areia e solos; iv) local de armazenamento no solo através de terraplanados, construção de diques, escavações e valas. A FAO adota uma classificação com 5 Categorias: micro-bacias hidrográficas; macro-captção; captação de água de inundações; armazenamento e reservatórios; e conservação de solos e água (Critchley e Siebert 1991).

Existe uma boa experiência de captação de água em regiões semi-áridas em Moçambique. Isto inclui práticas de micro-bacias que variam de construção de diques de desvio, diques semi-circulares, à sulcos nivelados, e pequenas bacias, e a taxa de adopção pelos agricultores formados é muito boa e tem mostrado resultados muito promissores.

O Projecto do Programa de Redução de Risco de Desastres (RRD), financiado pela GTZ e supervisionado pelo INGC, tem alguma experiência na captação de água. A componente de redução de vulnerabilidade de seca deste projecto tem estado a funcionar em Mabote e realizou um trabalho piloto com escavações e amontoamento da produção agrícola, bem como a captação de água em telhados para uso doméstico. Até Outubro de 2011, o projecto tinha formado 570 agricultores, com bons sinais de que muitos vão adoptar as novas técnicas, especialmente as que envolvem abertura de valas.



Figure 4-1: Valas e Escavações
Fonte: RRD

A experiência internacional mais ampla relativa a captação de águas pluviais inclui projectos na Tanzânia, com o apoio do DFID (Gowing 2000; NRSP 2007); projectos no Ruanda, Djibuti e África do Sul, com apoio da AWF (AWF 2006); trabalhos na Etiópia (Awulachew, Merrey et al. 2005); e investigação no Malawi (Chilimba e Liwimbi 2009).

Agricultura de conservação. A agricultura de conservação envolve uma série de técnicas agrícolas que permitem aumentar a matéria orgânica no solo, o que melhora a infiltração e retenção da humidade nos solos e maiores níveis de fertilidade. A textura do solo é melhor mantida com uma cobertura vegetal contínua, evitando o seu cultivo e usando uma cobertura de terra e estrume para reduzir a evaporação. A intensidade de cultivo é aumentada pela introdução de uma segunda ou terceira plantação, sempre que possível. Os benefícios adicionais também estão disponíveis a partir da redução da erosão dos solos, poupança de mão-de-obra, especialmente durante a preparação dos solos. A agricultura de conservação requer um conjunto de práticas de agricultura interdependentes, tendo em conta todo o sistema, incluindo o gado (Dambiro, Xavier et al. 2011; Mazvimavi de 2011; Mais leves, Majanen et al. 2011).

Agricultura de conservação está em rápida expansão em muitos países, com mais de metade das culturas no Brasil, plantadas sob lavoura zero e em forte crescimento na Austrália e nos EUA. A experiência em África tem sido mais irregular, mas o potencial é demonstrado em muitos projectos (ver Quadro 4.1).

Em Moçambique, foi recentemente formado um grupo de trabalho sobre agricultura de conservação, presidido pelo IIAM (com suporte da Plataforma para Investigação e Inovação Agrícola financiada pela USAID), com a participação da DNEA do MINAG, do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), do Instituto Internacional de Investigação de Culturas para os Trópicos semi-áridos (ICRISAT), o Centro Internacional de Desenvolvimento de Fertilizantes (IFDC) CARE, Fundo Mundial para a Natureza (WWF), a Clean Star Mozambique (CSM), da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), Michigan State University e a Aliança para a Revolução Verde em África (AGRA). Neste momento, a página de internet da IIAM inclui uma secção sobre a agricultura de conservação que inclui referências à 11 relatórios e 27 apresentações. Em Março de 2012 foi realizado um grande seminário nacional, com a presença de 70 participantes e tiraram-se conclusões sobre as acções e prioridades de investigação (Nhamusso 2012).

Em Moçambique, as técnicas que são mais comumente usadas encontram-se descritas num manual recente produzido pela FAO. Este explica os princípios e as actividades principais e descreve vários modelos, principalmente os que envolvem cultura inicial de feijão, seguida da principal cultura de milho. Os modelos também permitem uma terceira cultura (normalmente de gergelim ou de girassol) a ser cultivada em algumas áreas, e que germinará em baixo do milho. A estação seca pode ser usada para culturas de regadio ou para cobertura de terra e estrume.

Quadro 4.2: Experiência com a Agricultura de Conservação em Moçambique e em África

A FAO tem estado a apoiar a agricultura de conservação em Moçambique há mais de 10 anos através de uma série de projectos apoiados pela Fundação Jimmy Carter e o Centro de Nippon (2000 em Manica e Sofala), o Programa Italiano para a Segurança Alimentar (2005 em 12 distritos de Manica, Sofala e Maputo), o governo Sul-Africano (2007 em 11 distritos de Inhambane, Gaza e Tete) e NORAD via CAADP (2008 em 12 distritos de Cabo Delgado, Inhambane, Tete e Zambeze). Os Projectos têm usado o sistema da Escola na Machamba do Camponês (EMC), formando directamente mais de 600 extensionistas e 50.000 agricultores e um total de 150.000 (ou 3% de todos os agricultores), incluindo o contacto indirecto. Foram desenvolvidos mais de 100 modelos de agricultura de conservação abrangendo todas as 10 zonas agro-ecológicas. Muitos deles envolvem a rotação de culturas que vão de 2 a 3 culturas por ano a partir de uma estação de crescimento de seis meses. A FAO usa um orçamento de 300 dólares americanos/ha/época para o estabelecimento de agricultura de conservação em terrenos das EMCs e fornece sementes e algum auxílio com equipamentos para os agricultores participantes. Eles também fornecem 10 dólares americanos/dia para as despesas extras dos extensionistas. Tem havido uma avaliação limitada dos benefícios obtidos através da agricultura de conservação.

Nos últimos 10 anos, uma série de projectos tem sido usada na promoção da agricultura de conservação em Sofala, em estreita colaboração com a Direcção Provincial da Agricultura (Ministério da Agricultura), incluindo o PRODER (financiado pela GTZ), PROMEC (2001-03 financiado pela Áustria), PACDIB e o APROS (financiado pela Áustria). Os resultados sugerem que: os níveis de produção e produtividade subiram até 30%; as necessidades de irrigação baixaram em 60%; a mão de obra de sacha baixou até 90%; e o trabalho de preparação do solo diminuiu em cerca de 75% (Gyullyana, Calegari et al. 2006).

À luz do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Rural do Litoral de Cabo Delgado, a Fundação Aga Khan (AKF) tem apoiado a agricultura de conservação em cinco distritos daquela provincia que pelo menos estão parcialmente localizados no Parque Nacional das Quirimbas (Dambiro, Xavier et al. 2011). As primeiras demonstrações foram feitas pelos agricultores estáveis na temporada 2008/09 em 135 aldeias com 35.000 famílias, centrando-se no plantio directo (i.e., sem lavar a terra) e uso de cobertura de terra e estrume para aumentar a infiltração. Isto foi elaborado na época 2009/10 e inclui a captação

de água a partir de micro bacias e 120 agricultores cultivaram um total de 15,5 ha, com cada agricultor a ajudar uma EMC na divulgação e troca de experiências com vizinhos. Houve um aumento imediato nos níveis de produtividade do milho de 0,8 t/ha/época para 1,2 no primeiro ano, 1,8 no segundo e 3.2 no terceiro, principalmente devido ao aumento da humidade dos solos associada ao uso de cobertura vegetal. Outras culturas, como o feijão nhemba e feijão mungo também tiveram um significativo aumento de produtividade. O aumento da humidade dos solos melhora a resistência para períodos de seca e tem estendido a estação de crescimento por um ou dois meses. Além disso, houve uma redução de 75% na mão-de-obra necessária para a remoção de ervas daninhas, que eram responsáveis por entre 15% e 45% das necessidades totais de mão de obra.

A CARE/WWF está a gerir um projecto nos distritos de Angoche e Meconta em Nampula por um período de quatro anos, com dois anos de experiência em agricultura de conservação (Grabowski 2011). Os benefícios que advem da produção e produtividade e da poupança em termos de mão-de-obra são menos óbvios do que com o projecto da AKF, talvez devido às diferenças dos solos e porque a cultura básica é mandioca que requer que a terra seja remexida durante a colheita. Os projectos da Fundação Aga Khan (AKF), bem como os da CARE/WWF são guiados por um objectivo mais amplo de incentivo de agricultura sustentável, a fim de reduzir as pressões sobre outros recursos naturais que estavam a ameaçar os ecossistemas naturais. Em ambos os casos, os incêndios podem destruir a cobertura de terra e estrume e em algumas áreas foram criados aceiros.

Pesquisas recentes para avaliar o desempenho da agricultura de conservação no planalto de Angónia em Tete, analisaram dois projectos de ONGs, apoiados pela Igreja Reformada e a Total Land Care e concluíram que os benefícios líquidos da agricultura de conservação eram mistos (Grabowski 2011). Houve alguma sugestão que os benefícios eram dependentes do uso de insumos e que as necessidades de mão-de-obra também eram maiores. Como resultado, os agricultores consideraram a agricultura de conservação como adequada para pequenos 'terrenos de seguro' ou para culturas de maior rendimento

O Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT) e o Centro Australiano para a Investigação Agrária Internacional (ACIAR) lideraram o projecto de investigação de 2 anos da SIMLESA (Intensificação Sustentável de Sistemas de Milho-Legume para a Segurança Alimentar na África Oriental e Austral) virado para técnicas de agricultura de conservação na África Austral. O projecto incluiu trabalho em 6 distritos de Manica, Tete e Sofala, com colaboração do IIAM. Em cada distrito, os ensaios foram feitos com 6 agricultores, cada um equipado com um pacote de incentivo em termos de insumos agrícolas e equipamento de agricultura de conservação, para além de um outro pacote constituído por cinco elementos na comissão de investigação local. O sucesso do trabalho estava fortemente dependente da qualidade da extensão. Houve problemas iniciais com a disponibilidade de estrume e terra para cobertura das raízes das plantas e problemas com ervas daninhas e térmitas. O impacto do projecto em termos de produção e produtividade ainda não está claro. Um estudo recente sobre a experiência com a agricultura de conservação na África Austral concentrou-se sobre a Zâmbia e o Zimbabwe (Mazvimavi 2011). O estudo verificou que os níveis de produtividade de milho sob a agricultura de conservação eram 42% mais altos do que as técnicas de agricultura convencional na Zâmbia e 105% mais alto no Zimbabwe. As margens brutas para a agricultura de conservação eram três vezes superiores aos da agricultura convencional em ambos os países. A agricultura de conservação é amplamente conhecida em ambos os países e o equipamento está geralmente disponível. Em ambos os países, foram as famílias rurais mais vulneráveis que foram seleccionadas para a promoção da agricultura de conservação. Esta foi uma opção apropriada, dado o sucesso da agricultura de conservação na melhoria da segurança alimentar das famílias e porque as famílias vulneráveis apresentam geralmente graves carências de mão-de-obra, especialmente se afectadas pelo vírus do HIV/ SIDA. Contudo, o estudo concluiu que a importância da agricultura de conservação para as famílias com melhores recursos não deve ser negligenciada. A experiência no Brasil sugere que a agricultura de conservação pode ser rapidamente adoptada pelos agricultores estáveis, o que teria um grande impacto na segurança alimentar nacional e resistência às mudanças climáticas.

Um outro estudo sobre a agricultura de conservação em toda a África Subsaariana (SSA) observou que geralmente este tipo de agricultura tem tido êxitos no aumento da produção e produtividade

(especialmente a médio e longo termos, mas também, muitas vezes à curto prazo), no aumento de lucros e na redução de mão de obra (Milder, Majanen et al. 2011). The SSA review quotes global reviews suggest that conservation agriculture yields are 20% to 120% higher than with conventional agriculture, but reports evidence from Africa suggesting that the yield increases are often even higher, with many countries reporting doubling and trebling of yields (eg in Kenya, Ghana, Tanzania, Uganda, Malawi and Zambia). O estudo da África Austral cita estudos globais que sugerem que a agricultura de conservação apresenta uma produção e produtividade de entre 20% e 120% acima dos níveis alcançados pela agricultura convencional. No entanto, evidências de relatórios feitos em África sugerem que os aumentos de produção e produtividade são geralmente mais altos, com muitos países a reportar a duplicação e triplicação de tais níveis (por exemplo, no Quênia, Gana, Tanzânia, Uganda, Malawi e Zâmbia). O aumento da rentabilidade que se situa entre 80 e 200 dólares americanos/ha/época tem sido mais comum. Apesar deste sucesso, a agricultura de conservação é ainda usada em menos de 1 milhão de hectares na África Subsaariana e ao nível do Globo, isso situa-se abaixo de 1% do uso total deste tipo de agricultura. A maior parte desse uso é feito por agricultores comerciais, com o Gana e a Zâmbia a evidenciar o maior número de pequenos agricultores nessa prática. O estudo sugere que os principais problemas nesta actividade estão associados com a aprendizagem de novas práticas, integrando a pecuária com sistemas de cultivo e diferentes incentivos para homens e mulheres. A análise conclui que a contribuição mais importante da agricultura de conservação para mitigação das mudanças climáticas é através de uma pressão menor sobre a desflorestação e que os projectos de agricultura de conservação precisam de ser de longa duração e com mais flexibilidade do que os projectos convencionais.

Também existe alguma experiência útil no Zimbabwe e algum intercâmbio com estas iniciativas podem ser úteis para Moçambique (Twomlow, Urolov et al 2008; Marongwe, Kwazira et al 2010).

Uma recente avaliação de 26 estudos, envolvendo práticas de plantio directo em condições de produção de sequeiro toma em conta evidências nos EUA, Canadá, Brasil, México, Nigéria, Zimbabwe, Austrália, Índia, China e Itália (Rusinamhodzi, Corbeels et al. 2011). A análise examinou o efeito do tipo de solo, a chuva, a lavoura, cobertura de terra e estrume, e o uso de fertilizantes em condições de sequeiro e sugeriu que há uma grande variação de resultados. O plantio directo parece aumentar a produtividade, em comparação com o plantio convencional, quando a precipitação é baixa (<600mm), mas que diminui a produção com alta precipitação (> 1000mm). O impacto do plantio directo é melhorado quando é combinado com a rotação de culturas. Não existe um efeito claro das práticas de cobertura de raízes com terra e estrume, embora alguns estudos sugerem que elas têm um efeito positivo nas áreas mais secas, e que podem ser contraproducentes em áreas mais húmidas, devido aos riscos de inundações. Sugere-se que o plantio directo aumenta a produtividade em solos argilosos, mas reduz a produtividade em solos sedimentados. O efeito em solos arenosos não está marcado e só começa a ser sentido após cinco anos. Os estudos sugerem que existe uma relação muito forte entre a produtividade e a precipitação e que o coeficiente de regressão não foi muito diferente tanto para o plantio directo como para o plantio convencional. Os resultados mais promissores de plantio directo foram alcançados quando o fertilizante foi aplicado. O estudo concluiu que, para a África Austral, a agricultura de conservação deve ser promovida com cuidado e de forma flexível, num clima e condições dos solos adequados, com rotações de culturas e acesso à insumos agrícolas e com sensibilidade para as demandas de gado.

Desenvolvimento de zonas húmidas. Para além das técnicas acima referidas, o desenvolvimento de zonas húmidas inclui estruturas simples de controlo de água, com a construção de diques e nivelamento, obras de protecção, de drenagem e de inundação, reservatórios de retenção de água, tecnologias de micro-irrigação, poços rasos e pequenas bombas. Os projectos e os custos de desenvolvimento de zonas húmidas devem ser altamente específicos para o local.

Vantagens e desvantagens. As vantagens e desvantagens das principais técnicas de gestão de água estão resumidas na *Tabela 4-3*.

Além da tabela acima, uma série de outras questões práticas são importantes considerar em Moçambique:

- • 'Divisibilidade', referindo-se à possibilidade de o sistema vir a ser usado em muitas parcelas com pequenas dimensões, incluindo a adequação técnica (por exemplo, a mobilidade) e a necessidade de cooperação de gestão (por exemplo, comparticipação nos custos, dependendo da posse)
- • A necessidade de uso do conhecimento de especialistas estrangeiros (por exemplo, para manutenção, gestão e operação) e a disponibilidade e o custo desses conhecimentos específicos, por exemplo, de agentes nacionais
- • Robustez do sistema, risco de ruptura e a gravidade das implicações em termos de potencial falha de cultivo

4.4.2 Custos das Técnicas de Gestão de Água para a Agricultura

Irrigação por água azul. Os principais critérios para a inclusão das técnicas numa lista de referência são o custo por hectare, conforme apresentado na *Tabela 4-4*. A identificação das melhores opções não é um exercício simples, pois depende da combinação de técnicas usadas para as diferentes etapas do abastecimento de água, que por sua vez depende das condições físicas de cada local. O Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura identifica três pacotes de água azul e espera-se que estes venham a seros mais atraentes, segundo o descrito no 4.4.1.

Tabela 4-4: Custo das Técnicas de Gestão de Água Azul

	Investimento em Equipamento				Custos Operacionais				Total de I&O
	Custo USD	Tempo Anos	Área ha	Depreciação. USD/ha	Manutenção	Mão-de-obra	Combustível USD/h	Total	USD/h a/ano
Desenvolvimento de recursos hídricos									
Desenvolvimento de água subterrânea									
Poços abertos (15m de profundidade, 60cm de largura)	515	12	1.0	\$43	0	0	0	\$0	\$43
Furos rasos	397	12	3.0	\$11	0	0	0	\$0	\$11
Furos profundos	7,150	20	5.0	\$72	0	0	0	\$0	\$72
Desenvolvimento de água de superfície									
Pequenas barragens (50m de comprimento, 3m de altura, 44k m3)	50,793	24	5.9	\$361	31	0	0	\$31	\$392
Açudes de desvio	15,000	24	5.0	\$125	31	0	0	\$31	\$156
Elevação de água									
Regador (20lt, 50m para área)	6	2		\$91	0	1,611	0	\$1.611	\$1,702
Bomba de pedal (6m de altura)	140			\$80	32	368	0	\$400	\$481
Motobomba (4hp, 6m de altura) + sulco	1,140			\$31	10	0	312	\$322	\$353
Motobomba (4hp, 6m de altura) + mangueira	1,140			\$22	7	0	220	\$227	\$249
Bomba eléctrica & gerador à diesel (12m)	1,908			\$68	10	0	403	\$413	\$481
Bomba solar (800W 10m de altura)	7,940			\$377	8	0	0	\$8	\$384
Sistema de transporte									
LP-tubo+pedal	126			\$34	2	0	0	\$2	\$3
LP-tubo+moto	1,301			\$25	1	0	0	\$1	\$26
Canal de gravidade	600			\$33	7	0	0	\$7	\$40
Método de irrigação									
Mangueira + pedal	42			\$17	2	139	0	\$141	\$158
Mangueira + moto	194			\$6	1	138	0	\$136	\$144
Irrigação gota-a-gota	1,846			\$923	46	0	0	\$46	\$969
Irrigação por aspersão	9,000			\$329	49	0	1,069	\$1,108	\$1,437
Método de irrigação de superfície	400			\$100	20	160	0	\$180	\$280

Notas: A eficiência de irrigação é determinada pelo método de irrigação – excepto onde a eficiência específica para recursos de água, elevação e conduta pressuponha o uso de conduta canalizada com irrigação de mangueira (ou seja, 85%).

As estimativas de custo exigem suposições sobre a eficiência da irrigação e a altura de elevação de água. A eficiência é determinada em grande parte pelo método do sistema de conduta e método de irrigação. A eficiência num sistema convencional de gravidade com canais de terra e com uma irrigação de superfície não poderá exceder os 60%. Onde a conduta for através de

tubos e a irrigação for por mangueira flexível ou got-a-gota ou por aspersão, a eficiência de irrigação situa-se aproximadamente em 85%. o custo da elevação de água é directamente proporcional à altura levantada. Os seguintes constituem intervalos típicos em que operam as técnicas: bomba de pedal < 7 m; motobomba < 7 m, para altura de sucção; electrobombas (por gerador ou à base solar) 10-100 m.

A composição dos custos varia consideravelmente para as diferentes técnicas de gestão de água. Para um bom desenvolvimento e condução de água, os custos são principalmente de depreciação. Para a elevação de água, os principais custos são de mão-de-obra (para regadores e bombas de pedal) ou combustível, para todas as bombas, excepto as solares, onde o custo principal é a depreciação. As técnicas de irrigação de campo são misturadas, com a mão de obra a ser predominante no uso da mangueira, o capital predominante para a irrigação gota-a-gota e o combustível a ser predominante para a irrigação por aspersão.

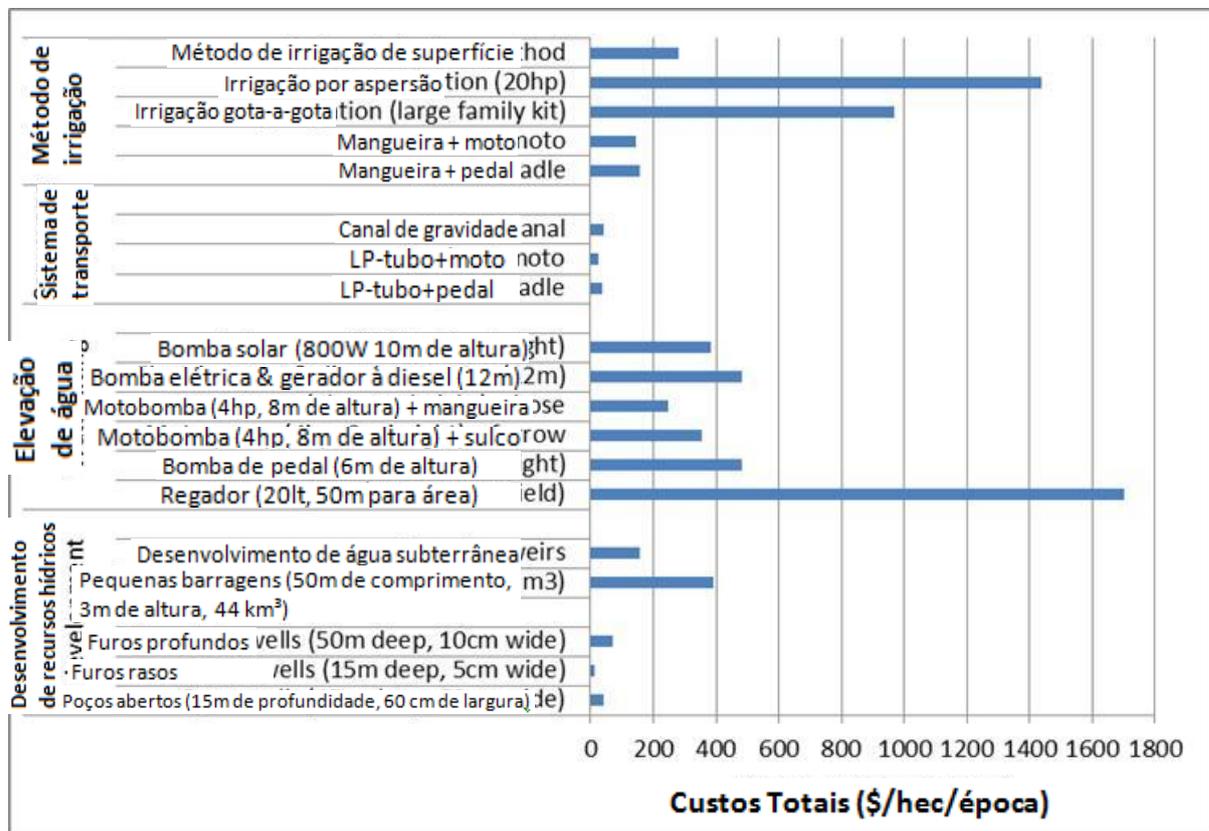
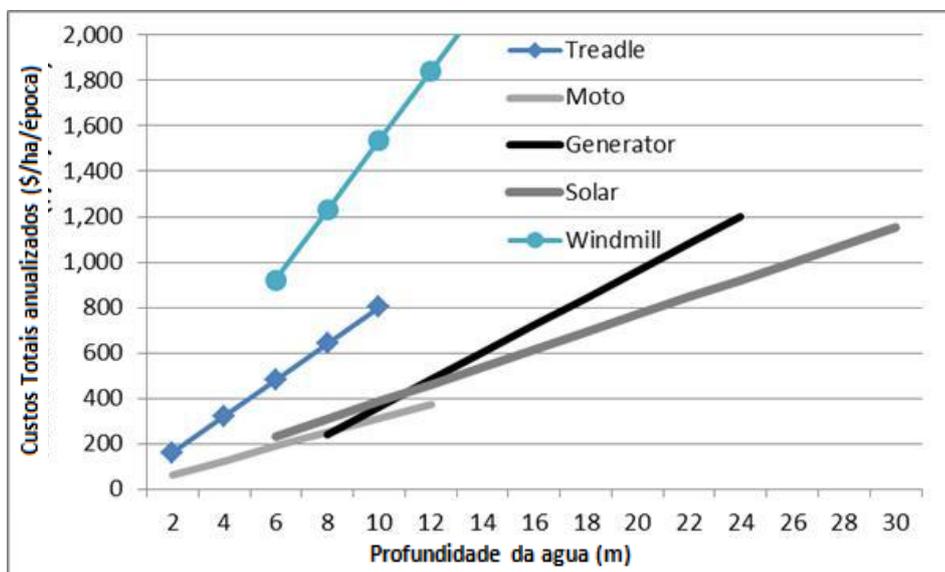


Figura 4-6: Custos das Técnicas de Gestão de Água Azul

Fonte: vide a Tabela 4-3

Para as bombas, os custos são inversamente proporcionais à profundidade da qual a água é bombeada, mas diferentes bombas operam em diferentes profundidades. A série de custos está apresentada na Figura 4.6. Estes valores assumem que a mão-de-obra está avaliada em 1 dólar americano/dia, que é inferior à taxa de mercado de trabalho manual em Moçambique. Isso revela o facto de que algumas famílias vão ter um agregado no qual o tempo é avaliado em taxas mais baixas, por exemplo, se as famílias consideram que o valor das crianças que frequentam a escola é relativamente baixo. Os agricultores que têm parcelas de terra muito pequenas, podem usar o regador como a solução mais barata, porque eles são incapazes de se

organizar e colaborar com outros pequenos agricultores no uso de técnicas de gestão de água para a agricultura que conseguem cultivar áreas maiores.



Legenda: custos totais anualizados (custos/ha/época): Treadle – Bomba de Pedal; Moto – Motobomba; Generator – Gerador; Solar – Gerador Solar; Windmill – Moinho de Vento.

Figura 4-7: Custos das Opções de bombeamento

Os seguintes princípios gerais podem ser extraídos de tabela e gráficos acima.

- A técnica mais comum de gestão de água para a agricultura em Moçambique é o regador. Isto custa cerca de USD1700/ha/época, tendo em conta que a mão-de-obra está avaliada em 1 dólar por dia e a água está à 25 m das plantações.
- O uso de bomba de pedal, com mangueiras e tubos custa cerca de 680 dólares americanos/ha/época.
- A prática comum de usar motobombas para a elevação da água dos rios, combinada com os canais e sulco de irrigação, custa cerca de 670 dólares americanos/ha/época. Isso pode ser reduzido para cerca de 420 dólares/ha/época, se forem usados tubos e mangueiras.
- Com sucção de 5 m, 7 m, além do uso de qualquer elevador de pressão adicional, é possível usar uma motobomba ou uma electrobomba. Nesse intervalo, a electrobomba (alimentada por energia solar ou por um gerador à diesel) é aproximadamente 80 dólares americanos/ha/época mais caro do que uma motobomba. As electrobombas podem operar em muito maior profundidade.
- O custo de poços e da tubagem é relativamente pequeno. Se a água de superfície não estiver disponível e for necessário um poço aberto e um furo raso, os custos são acrescidos até 43 dólares americanos/ha/época, mas isto é aproximadamente o equivalente à poupança em tubos ou canais.
- Irrigação por gota-a-gota custa cerca de 1000 dólares americanos/ha/época, excluindo a elevação de água, condutas e irrigação por aspersão cujos valores situam-se acima de 1400 dólares americanos/ha/época.

Captação de água. O projecto do Programa de Redução de Risco de Desastres (RRD) tem vindo a abrir valas em terrenos de 1000m², levando cerca de 3 semanas por cada pessoa. O projecto disponibiliza um pacote no valor de 1500 Mtn, incluindo ferramentas, 1 kg de sementes de milho e 1m³ de material de plantação de mandioca. Os custos de investimento são USD550/ha. Tendo em conta que as ferramentas estão avaliadas em 500 Mtn e que a mão-de-obra é relativamente escassa em áreas semi-áridas, esta foi por isso avaliada em USD2 por dia. Não é necessário depreciar esse investimento, uma vez que características e/ou componentes de captação de água não exigem substituição. No entanto, o investimento envolve consideráveis custos únicos e os custos anuais destes são estimados tendo em conta que o custo de oportunidade do capital envolvido é de 20% por ano, igual a USD110/ha/ano. Também há exigências de manutenção substancial, que são estimadas em USD55ha/época, resultando num custo total de aproximadamente USD140/ha/época.

Isso é mais ou menos consistente com a experiência em outros países africanos. A *Tabela 4-4* a seguir resume os resultados reportados num estudo recente (Van Koppen, Nogueira et al. 2005). O custo de capital de uso dessas técnicas de gestão de água por hectare varia entre USD94 e USD5000/ha e a relação entre custo e benefício varia de cerca de 0 à 1,8 na melhor das hipóteses. O estudo conclui que existe um espaço limitado para o uso da captação de água com sucesso.

Tabela 4-5: Exemplos de Captação de Água em África para Produção Agrícola

Tipo	Países	Culturas	Projecção	Custo de capital (\$/ha)	Relação custo benefício
Bacias de Majaruba	Tanzânia	Arroz com casca	Bacias delimitadas com cerca de 200m ²	94	0.6
Covas de plantação	Quénia, Tanzânia	Fruteiras	Covas de solo com 30cm de diâmetro e cobertura de capim		
Barreiras de desvio	Quénia, Tanzânia	Culturas de campo	Redução de escoamento e Infiltração crescente	369	0.3
Diques trapezoidais de Negarim	Quénia	Sorgo	Concentrar o escoamento em campos	750	-0.1
Sulcos amarrados	Zimbabwe	Culturas de campo	1.5m de espaçamento entre sulcos		
Barragens de armazenagem de blocos	Quénia, Burquina Fasso	Hortícolas	Escoamento de armazenamento	5000	0.5
Tanques de superfície (silanga etc)	Quénia e outros países	Hortícolas	RELMA, Practica ...	182	1.8

Fonte: (Peacock 2005)

Agricultura de conservação. Devido a variedade de técnicas envolvidas na agricultura de conservação, não é fácil estimar o número geral de custos envolvidos.

A experiência em África parece sugerir que existem dois tipos de custos no estabelecimento da agricultura de conservação: no primeiro tipo, existe uma queda de produção e produtividade nos primeiros anos quando as culturas são vulneráveis às ervas daninhas, quando os solos ainda tiverem recuperado e os agricultores não estiverem familiarizados com todas as técnicas para responder prontamente aos desafios; e no segundo tipo, os custos são principalmente da mão-de-obra necessária para realizar a cobertura com base na terra e estrume ou capim. Com

qualquer um destes dois tipos, concorda-se que leva-se entre 4 e 7 anos para alcançar todos os benefícios do processo, com um período de transição menor em regiões de clima mais quentes. No primeiro ano são comuns as perdas de produção e produtividade até a metade, com alguns custos reduzidos e outros adicionais, especialmente para o controlo de ervas daninhas. A análise pressupõe que uma perda líquida de rendimentos equivalente a 40% dos níveis de produtividade ocorre no primeiro ano e uma perda de 20% no segundo ano. No terceiro ano, os níveis voltam a ser os mesmos obtidos com a agricultura convencional e a partir do quarto ano em diante, os níveis melhoram superando os da agricultura convencional.

Os custos de investimento de outras técnicas de gestão de água para a agricultura devem ser depreciados, porque o equipamento de substituição deve ser comprado. No entanto, os custos pelos níveis de produção reduzidos durante o período de transição na agricultura de conservação representam um custo único que não se repete e, portanto, que não deve ser depreciado. Não é simples exprimir estes custos pontuais em USD/ha/época, para torná-los comparáveis com os das técnicas de agricultura de conservação e de água azul. Os níveis de produção perdidos podem chegar a constituir um custo extremamente elevado, especialmente para famílias que são altamente vulneráveis e onde essa perda pode representar uma ameaça irreversível para a sobrevivência dos membros do agregado familiar. A análise pressupõe que o custo anual equivalente aos custos pontuais de transição seja determinado pelo custo de oportunidade real de capital nas zonas rurais, que se situa em 20%. O custo anual dos níveis de produção perdidos nos primeiros dois anos estima-se que seja de 12% do valor normal da colheita anual. Para o milho em Caia, isso equivale à USD160/ha/ano.

Há também alguns custos de investimento necessários para equipamentos simples. A FAO tem assumido que os custos para a criação de um hectare de agricultura de conservação são necessários USD300, incluindo USD50 para o equipamento de plantio, mais os custos para insumos agrícolas e para a aquisição de estrume ou capim para cobertura, quando não seja possível obtê-lo. Estes custos são pelo menos parcialmente compensados pela redução dos custos de preparação da terra e fertilizantes, por causa dos grandes níveis de fertilidade do solo, o que leva a uma redução dos custos de exploração, pelo menos a médio prazo.

A partir da perspectiva de Moçambique como um todo, os custos de apoio às redes de agricultores (tais como as EMCs) e os serviços de extensão são susceptíveis de ser tão altos quanto os custos de produção perdidos nos anos de transição. Todos estes custos devem ser tidos em conta na análise económica de projecto.

Construção de diques e drenos. Os custos de construção de diques e drenos vão variar de acordo com as condições locais. No entanto, podem ser fornecidos alguns custos indicativos. A construção de diques para o arroz é comparável às operações de captação de água para os campos, o que custa aproximadamente USD550/ha. A protecção de drenos e de inundações envolve canais de drenagem e inundações e diques de protecção, que vão ser muito variados, especialmente se forem necessários diques de protecção e comportas. No entanto, deve ser possível limitar estes custos para cerca de USD600/ha. O orçamento do projecto inclui um custo total de construção de diques e de drenos de aproximadamente USD1100/ha.

4.4.3 Benefícios da Produção Agrícola e do Rendimento Agrícola

Gestão de água para a agricultura na estação seca e chuvosa. O projecto vai apoiar o cultivo em estação seca e vai fornecer irrigação suplementar na estação chuvosa.

Na época da seca, a disponibilidade de irrigação de água azul torna possível o plantio de culturas quando isso não fosse possível caso contrário. Como resultado, as margens totais alcançadas sobre a cultura podem ser atribuídas como um benefício à gestão de água para a agricultura. O cultivo de legumes de irrigação é muito mais eficaz na época da seca, porque na estação chuvosa legumeos legumes são muito mais vulneráveis à pragas e doenças. Onde for possível para o mercado de legumes da estação seca, estes fornecem lucros mais altos.

Durante a estação chuvosa, o projecto vai disponibilizar água azul, técnicas de irrigação que podem aumentar a produtividade em áreas secas e podem proteger as culturas em áreas húmidas, quando houver períodos secos curtos ou seca prolongada.

Em alguns casos, os mesmos investimentos de água azul podem ser usados para a estação seca e estação chuvosa de cultivo. A captação de água se aplica apenas para regar as culturas na época. A agricultura de conservação é um caso especial porque permite que a estação chuvosa seja prolongada e torna possível cultivar duas ou três culturas durante a estação chuvosa.

A *Figura 4.4* resume as margens a ser alcançadas na estação seca e húmida para legumeos legumes e para o milho ou feijão, assumindo que a irrigação seja fornecida para atender às necessidades de água das culturas básicas. O custo de irrigação diminui com a precipitação, pois menos água vai ser necessária e os custos operacionais vão diminuir. A irrigação não é necessária durante a estação chuvosa normal. As margens de milho/feijão, excluindo os custos de gestão de água para a agricultura, são os mesmos da época seca e húmida. No entanto, para produtos hortícolas, as margens diminuem com a precipitação devido ao aumento da pressão de pragas e doenças.

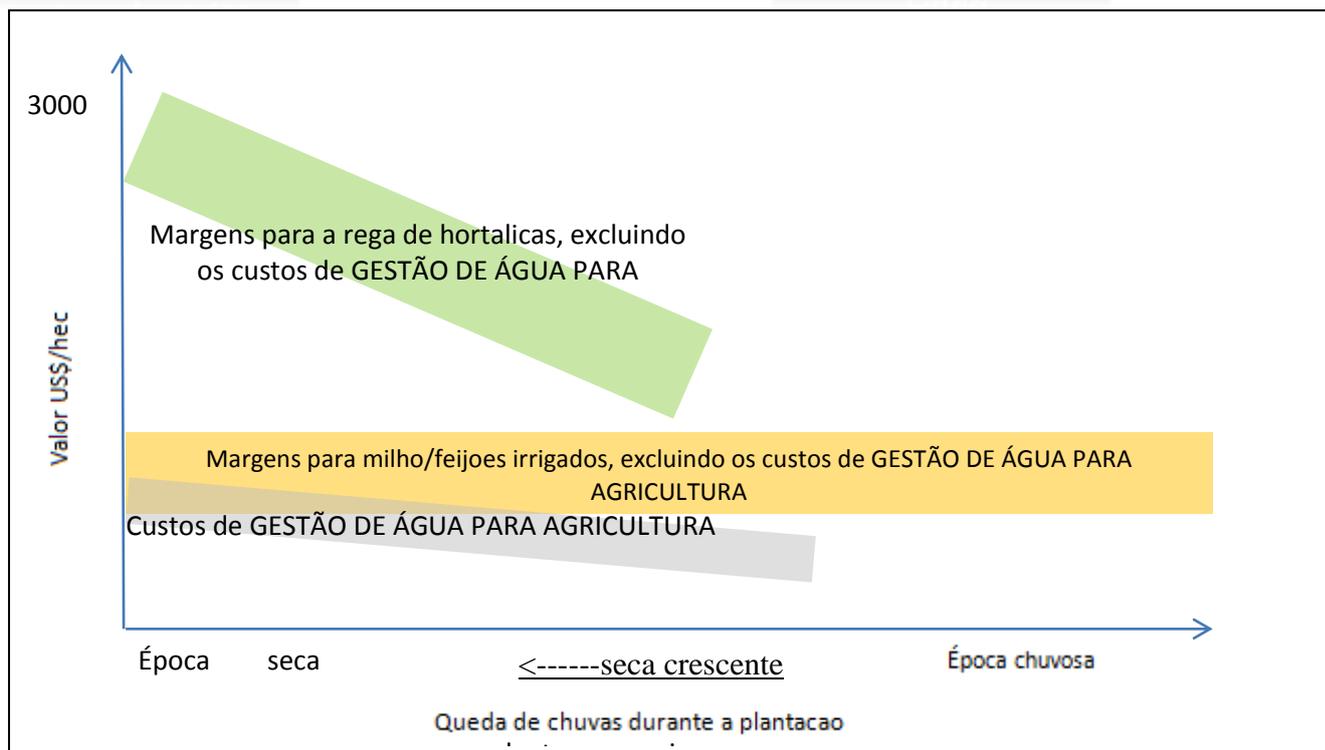


Figura 4-8: Margens e custos de GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA para legumes e milho/feijões

A *Figura* sugere que a irrigação é altamente rentável para legumes irrigadas na época da seca. Para o milho e feijão, a situação é mais marginal. Irrigação suplementar em épocas de chuvas medias pode trazer bons lucros. No entanto, em épocas de secas, o volume de água necessária para cultivar milho e feijão é tal que custos de gestão de água para a agricultura levam todas as margens disponíveis e não sobra nenhuma margem líquida. Isso é consistente com as constatações encontradas na literatura que a irrigação suplementar para o milho e o feijão pode ser rentável em algumas circunstâncias (Falkenmark e Rockstrom 2004; Oweis, 2009)

Resposta das Culturas à Água. A resposta das culturas à água ou cultura geralmente é expressa como um termo de eficiência de água específico das culturas que quantifica a produtividade como a relação ao fornecimento de água e pode ser expressa em kg/m³ ou kg/mm para uma área específica (por exemplo, 1 kg/m³ é igual a 0,1 kg/mm para uma área de 1 hectare, ou 0,01 kg/mm para uma área de 1000m²). As variedades de culturas de cereais de alto nível de produtividade podem, com um nível ideal de insumos, atingir entre 1.0 até 2 kg/m³. Para a maioria dos cereais de sequeiro, os valores de produtividade de água (CWP) variam entre 0,4 a 1,0.

A produtividade de culturas de água, tipicamente mostra uma sigmóide, ou curva-S, específicas para cada cultura e a variedade e mostra a capacidade genética para adaptar-se aos diferentes regimes de nutrientes e água, bem como de ervas daninhas e desafios de pragas, segundo o exposto na *Figura 4.9*, as culturas de sequeiro adaptadas para padrões de pluviosidade baixa e irregular e baixos insumos têm uma relação fixa de produtividade de água, e ainda assim apresentam uma produtividade em condições de escassez de chuvas, se bem que, por outro lado, apresentam um potencial de produção e produtividade limitado sob condições ideais de precipitação. As culturas que precisam de muitos insumos atingem níveis de produção e produtividade muito altos, mas são muito sensíveis à falta de água ou a problemas de fertilidade

dos solos e por isso não trazem bons resultados em condições onde as culturas de sequeiro podem ainda produzir.

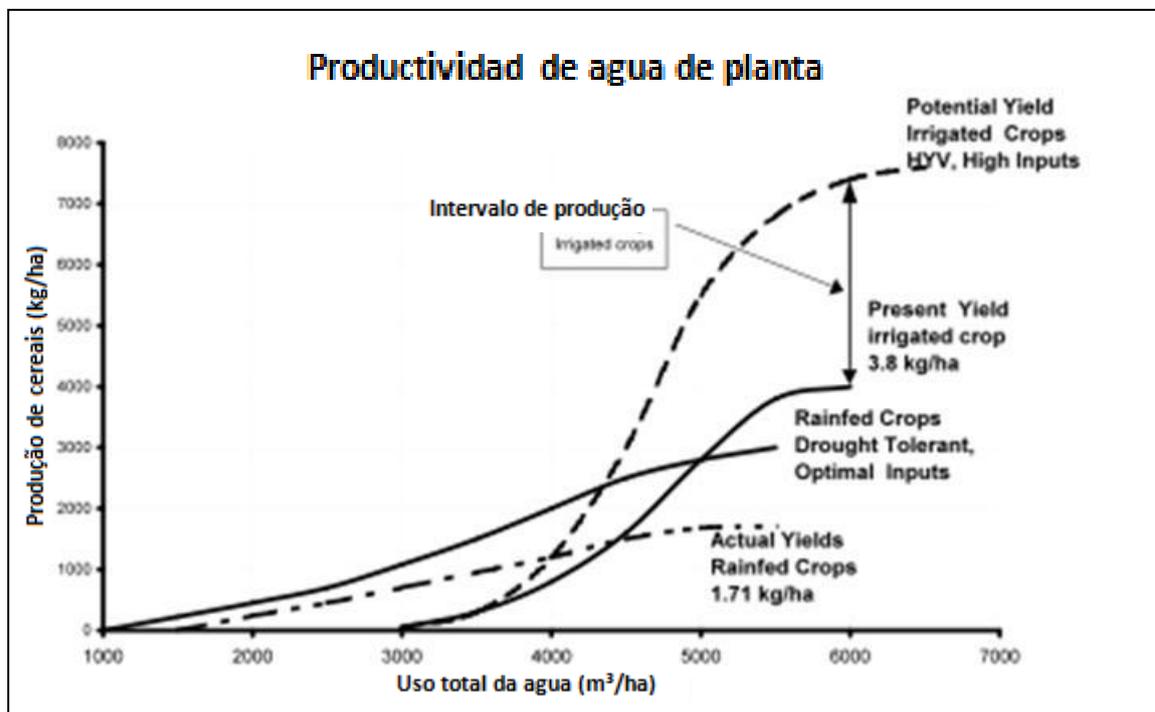


Figura 4-9: Produtividade das Culturas de Irrigação e de Sequeiro (Figura em parte em Inglês)

Fonte: (Smith 2002)

Existem informações limitadas disponíveis sobre a relação entre a produção e a produtividade e a água para as culturas de sequeiro e de regadio em Moçambique. Para as culturas de grãos, a produtividade típica de água em condições de sequeiro varia de 0,4 à 1,0 kg/m³, mas isso pode ser 50% mais alto com variedades de sequeiro melhorada, com adubo e irrigação suplementar que ajuda as culturas a sobreviver à períodos de seca e de falta de água (Falkenmark e Rockstrom de 2004; Oweis e Hachum de 2009). Para legumes irrigadas, as tabelas das margens de culturas da PROIRRI dão alguma evidência dos níveis de produtividade esperados e mostram que a produtividade de água é normalmente de 1,3-1,6 kg/m³ para legumes de sequeiro e até 3,0 para legumes de regadio. No entanto, a produtividade de água das culturas de legumes é altamente variável, especialmente em condições de sequeiro.

Na agricultura de sequeiro, a ETa está intimamente ligada a precipitação efectiva, que leva em conta as perdas de precipitação, escoamento superficial e percolação profunda. Embora a relação seja complexa, como uma regra básica em Moçambique, o uso de água das culturas vai normalmente usar de 50% à 70% da precipitação. Isso significa que a media de ETa para as culturas de sequeiro em Moçambique é de aproximadamente 300 mm à 500 mm para uma estação de crescimento de 120 dias. Na prática, é difícil para os pequenos agricultores de calcular as necessidades de água das culturas e o volume de água usado para irrigação que é geralmente muito baixo ou, mais comumente, muito alto. Um aplicativo de irrigação estação seca típica de micro nível gestão de água para a agricultura pode envolver 400 mm da área de ETa (ou seja, após a contabilização de perdas). Dependendo da localização e da época, também pode haver pequenos níveis de precipitação disponíveis para trazer o total de ETa para cerca de 500 mm.

A Tabela 4-6 mostra a resposta de níveis de produtividade em relação a uma adicional evapotranspiração de cultura gerada a partir de uma melhor gestão de água.

Tabela 4-6: Resposta de culturas à água (terreno de 1000 m²)

		Mabote		Caia		Beira	
		Milho	Legumes	Milho	Legumes	Arroz	Legumes
		Húmido	húmido	húmido	Húmido	Húmido	húmido
Produtividade de sequeiro	Kg	60	400	409	409	100	650
Produtividade com a gestão de água para a agricultura	Kg	140	700	300	300	300	1300
Respostas de água							
Chuvas	Mm	249	249	409	409	500	500
Aplicação da gestão de água para a agricultura	Mm	100	100	300	300	300	300
Resposta das culturas							
Sequeiro	Kh/m ³	0.24	1.61	0.32	1.47	0.20	1.30
Chuva+ gestão de água para a agricultura	Kg/m ³	0.40	2.01	0.37	1.69	0.38	1.63
Margens de gestão de água para a agricultura	Kg/m ³	0.80	3.00	0.43	2.00	0.67	2.17

Os princípios básicos da resposta à água são descritos no documento 33 da FAO sobre a irrigação e drenagem, que introduz uma relação simples linear entre os níveis de produtividade e a evapotranspiração da cultura, devido à escassez de água. A relação linear é expressa por um factor de resposta de níveis de produtividade (Ky). As culturas sensíveis à escassez de água, tais como o milho têm um factor de Ky maior que 1, enquanto que as culturas mais resistentes à seca mostram valores de Ky entre 0,4 a 1,0.

Os conceitos e procedimentos apresentados nos documentos FAO24, 33 e 56 foram introduzidos numa série de modelos que permitem cálculos imediatos sobre a demanda de água por parte de culturas, reduções de evapotranspiração e rendimento de corte real devido à reduzida oferta de água, precipitação efectiva, requisitos de irrigação de culturas (ver Quadro 4.3).

Quadro 4.3: Métodos Analíticos para Avaliar o Impacto da Disponibilidade de Água em Culturas de Rendimento

O documento 33 da FAO sobre a irrigação e drenagem apresenta procedimentos para estimar os níveis de produtividade da cultura a partir da evapotranspiração real da cultura (ET_a). Os procedimentos para necessidades de água das culturas (ET_c) foram inicialmente apresentados no I&D N° 24 (1977) da FAO com provável ou evapotranspiração de referência (ET_o) determinada a partir de condições climáticas. Os procedimentos revistos para estimar a transpiração de referência foram apresentados no I&D 56 da FAO (1996), com base na equação Penman Monteith para estimar a referência ET, com refinamentos adicionais para estimar a transpiração das culturas e evaporação do solo. O método da FAO Penman-Monteith tornou-se o padrão mundial para cálculos sobre demanda de água das culturas.

Os procedimentos da FAO encontram vastas aplicações e foi produzido um grande número de modelos com base no documento I&D da FAO, maioritariamente para gestão da irrigação. Estes modelos também têm sido usados para examinar as implicações das alterações climáticas na produção agrícola. O modelo mais usado foi o modelo de FAO CROPWAT (FAO I&D 46), que integra os cálculos, procedimentos com base no FAO I & D 33 e 56. O CROPWAT revelou-se útil para a planificação global, esboço e operação de projectos de irrigação e para a avaliação rápida das reduções de produtividade sob condições de água limitada. Vastas aplicações de alocação de água têm sido encontradas entre as culturas durante períodos de escassez de água para vários estudos em escalas nacionais ou regionais, onde prevalecem condições de cultura generalizada. Actualmente, o CROPWAT foi substituído pelo AQUACROP, que leva em conta as melhorias feitas ao FAO I & D 56.

Um novo estudo com vista a actualização de procedimentos referentes a respostas de níveis de produtividade foi iniciado pela FAO em 2000 e será concluído com a publicação do documento N° 66 da FAO I & D em 2012. Este inclui a apresentação do AQUACROP que apresenta um modelo dinâmico de resposta de água que simula o plantio da cultura, o desenvolvimento da planta com base na disponibilidade de água e transpiração de cultura na zona da raiz. Uma série de parâmetros dependentes da cultura permitem uma simulação detalhada dos processos de crescimento e impacto da escassez de água e fertilidade nos níveis de produtividade, mas exigem uma calibração mais resistente. As aplicações práticas do AQUACROP para estudos de mudança do clima estão actualmente a começar a surgir.

Os estudos de clima em Moçambique têm usado o modelo CLICROP (por exemplo, no estudo EACC e INGC fase II), que é semelhante ao CROPWAT mas adiciona mais detalhes sobre o escoamento superficial, percolação profunda e encharcamento. Além do acima referido, tem sido comum usar-se a estrutura de modelo DSSAT que usa modelos diferentes (por exemplo, CERES, SUBSTOR e CROPGRO) para diferentes culturas. Os resultados destes são avaliações que se encontram na secção 4.2.3.

Margens da Machamba. Os benefícios aos agricultores são determinados em função do impacto da gestão de água para a agricultura sobre as margens da machamba. A *Tabela 4-7* mostra as margens das culturas de arroz, milho e legumes em cada uma das três regiões onde o projecto vai operar. Os valores para legumeos legumes são uma média aproximada de cebola, tomate, batata e repolho. Para cada cultura, a tabela mostra as margens de sequeiro e irrigada para o cultivo durante a época seca. Na prática, há grandes variações nas margens de exploração, tanto entre e dentro das regiões e os valores da tabela devem ser considerados como indicativos.

Tabela 4-7: Margens de cultura por hectare

		Mabote		Caia		Beira	
		Milho / feijões	Legumes	Milho / feijões	Legumes	Milho / feijões	Legumes
Preço de mão de obra	\$/dia	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sequeiro							
Produtividade	kg	600		1300		1000	
Preço da cultura	\$/kg	0.40		0.40		0.35	
Mão-de-obra	dias	150		150		150	
Valor da cultura		240		520		350	
– Custos de mão-de-obra		150		150		150	
– Outros insumos		10		100		100	
– Margem		80		270		100	
Irrigados							
Produtividade	Kg	2800	7000	2800	1200	2800	1300
Preço da cultura	\$/kg	0.48	0.40	0.48	0.33	0,42	0.37
Mão-de-obra	dias	150	373	150	640	150	640
Valor da cultura		1344	2800	1344	3960	1176	4810
– Custos de mão-de-obra		150	373	150	640	150	640
– Semente/fertilizante		100	281	100	556	180	556
– Outros insumos		180	324	180	556	180	556
=Margem exacta de gestão de água para a agricultura		914	2103	914	2283	746	3133
como % do valor da cultura		68%	75%	68%	58%	63%	65%
– Custos de gestão de água para a agricultura		618	480	618	618	618	618
=Margem incluindo a gestão de água para a agricultura		296	1623	296	1665	128	2515

Fonte: as estimativas da equipa baseados na avaliação da PROIRRI (Banco Mundial 2011) e (Oweis e Hachum 2009) adaptado para os micro custos de gestão de água para a agricultura desenvolvidos neste estudo e os custos de mão de obra actualizados. Os orçamentos de culturas da PROIRRI são orçamentos genéricos para duas áreas: terras altas/região central de regadio, que são mais relevantes para Mabote, e planícies, que são mais relevantes para Caia e Beira. Na prática, pode-se conseguir uma série de rendimentos em qualquer um dos locais, dependendo das características específicas dos solos e conhecimentos de agricultura. Assim, os orçamentos apresentados podem somente ser tratados como estimativas.



As estimativas de níveis típicos de produção, mão-de-obra, sementes, agroquímicos, máquinas e ferramentas são obtidas a partir do documento de avaliação do Banco Mundial para o projecto PROIRRI. Os custos de irrigação são obtidos na secção 4.4.2, tendo em conta a opção A, com motobomba, conduta canalizada e mangueira de irrigação. Pode-se chegar as seguintes conclusões:

- As margens para legumes em Caia e Beira são de 1700 à 2500 \$/ ha/época de produção de regadio de estação seca e cerca de 50% do valor da produção na saída da machamba.
- As margens de milho e de arroz são muito menores e estas culturas dão um pouco mais de 1 \$/dia de retorno para a mão-de-obra da quinta. As margens para os cereais de regadio na estação seca são inferiores que as culturas de sequeiro na estação chuvosa.
- Portanto, é muito mais rentável utilizar técnicas de gestão de água para a agricultura para legumes da estação seca e, de facto, é difícil justificar o investimento em técnicas de gestão de água para a agricultura justamente para dar protecção contra a seca aos cereais e legumes de estação chuvosa.
- As margens das culturas são altamente sensíveis à hipóteses sobre o valor da mão de obra e das culturas, os quais variam consoante a época e localização em Moçambique.

Benefícios da irrigação com água azul na estação seca. Para o cultivo de estação seca, a produção total é dependente de gestão de água para a agricultura e os benefícios derivados são as margens totais dessa produção. A margem excluindo os custos de irrigação em legumes irrigadas na estação seca é de aproximadamente 2100 dólares americanos/ ha/época em Mabote, cerca de 2300 dólares americanos/ ha/época em Caia e aproximadamente de 3100 dólares americanos/ ha/época na Beira. Para o milho, as margens estão entre 80 e 300 dólares americanos/ ha/época.

Benefícios da irrigação suplementar com água azul na estação chuvosa. Na maior parte das regiões de Moçambique, a irrigação suplementar na estação chuvosa tem pouco impacto sobre a produtividade durante os anos com muita chuva. Nos anos em que se verifica um défice de precipitação chuvosa, a irrigação suplementar deve ser capaz de fazer face à escassez de água e gerar alguns benefícios. Não existe nenhuma análise da correlação entre níveis de produtividade em condições de sequeiro e as chuvas. No entanto, uma breve análise nos dados dos últimos 5 anos sugere que existe uma relação e que uma variação de 10% na precipitação gera uma alteração de 10,1% nos níveis de produtividades. A *Figura 4.10* apresenta evidências da variabilidade da precipitação ao longo dos últimos 40 anos. Os números sugerem que a precipitação mensal durante um período de crescimento normalmente húmido (ou seja, de Dezembro à Fevereiro) é de aproximadamente 200 mm e que a maioria dos anos variam entre 150 e 200 mm. O défice médio abaixo de 200 mm é de 20 mm ou 10%, sugerindo que, em média, um défice de precipitação reduz os níveis de produtividade em 10%, se comparados com os níveis alcançados sem restrições de água.

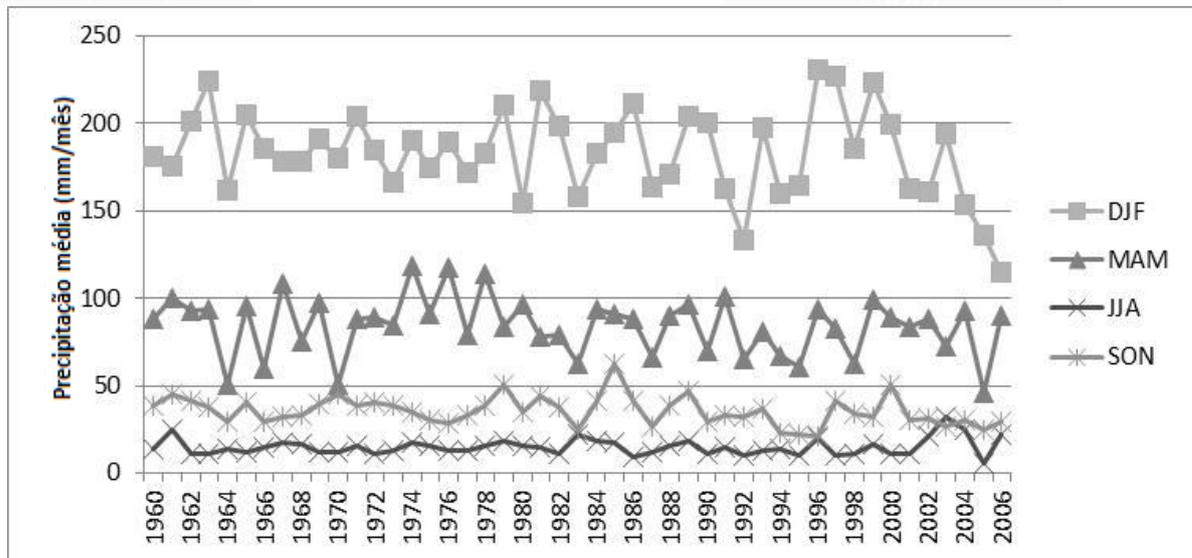


Figura 4-10: Variação da precipitação ao longo dos últimos 40 anos

Fonte: Estudos Locais sobre Mudanças Climáticas do PNUD em <http://country-profiles.geog.ox.ac.uk>. Nota: O centro de registo não se encontra especificado.

Benefícios da irrigação com água azul para proteger contra períodos curtos de seca. A irrigação também pode dar protecção contra os efeitos de curtos períodos de seca. Isso depende do calendário do período de seca: se ocorrer no final do crescimento da cultura, então a gestão de água para a agricultura será responsável por salvar a colheita inteira e os benefícios serão o valor total da cultura, não apenas a margem, desde que os custos não sejam 'afundados' e não haja tempo para replantar e semear uma outra cultura. Não está disponível nenhuma evidência da frequência e a duração dos períodos curtos de seca em Moçambique. Na ausência de qualquer evidência, presume-se que existem quatro tipos diferentes de período de seca: i) precoce e modesto; ii) precoce e grave; iii) tardio e modesto; e iv) final e grave. O rendimento perdido em cada um destes períodos de seca é de 20%, 40%, 50% e 80% respectivamente e a frequência com que ocorrem os tipos presume-se ser de 20%, 10%, 20% e 10%. Portanto, a perda média em termos de rendimento em curtos períodos de seca estima-se que seja de 26%.

Captação de água. O impacto na produtividade do trabalho do Programa de Redução de Risco de Desastres sobre a captação de água em Mabote ainda não foi avaliado, mas há alguma evidência recente de Malawi, sobre o milho de sequeiro em áreas que são semelhantes para as partes mais secas de Moçambique e são propensas à períodos de seca (Chilimba e Liwimbi 2009). A análise do Malawi inclui um intervalo de dados a partir de centros de investigação do governo. Uma experiência sugere que a captação de água aumenta a produção na ordem 12% para os sulcos, 32% para escavações e 87% para valas. Outro estudo compara apenas a água de diferentes técnicas, sugerindo que a abertura de valas e escavações são aproximadamente iguais e ambos oferecem níveis de produtividade que são aproximadamente 10% a 20% maiores do que os obtidos em sulcos. Precisa-se ter algum cuidado ao usar estes resultados, uma vez que existe uma grande variação entre os locais e os ensaios foram feitos em centros de investigação, e não com agricultores.

Avaliações internacionais mais amplas sobre a captação de água suportam a ideia de que normalmente alcançam-se aumentos significativos nos níveis de produção, embora haja uma evidência quantitativa limitada e algumas grandes variações nos resultados (NRSP 2007). Um projecto do DFID na Tanzânia produziu uma visão válida, mostrando que sistemas de captação

de água no local só foram eficazes na época mais seca e não na principal época das chuvas, mas que a captação de água que trouxe água de fora dos campos foi de grande benefício e foi o mais preferido pelos agricultores (Gowing 2000). A *African Water Facility* tem apoiado a captação de água no Ruanda, Djibuti e África do Sul. Avaliações recentes destes projectos fornecem evidências muito limitadas sobre o impacto no rendimento, mas não há evidências de que os resultados aumentaram substancialmente, com margens a subir entre USD130 e 230/ha/época no Ruanda (AWF 2006). Um estudo de captação de água na Etiópia sugeriu que o aumento de rendimento foi mais modesto, em menos de 15%, e que os problemas de salinidade e pragas poderiam prejudicar os benefícios a alcançar (Awulachew, Merrey et al. 2005).

Tendo em conta o alcance das provas acima apresentadas, a análise económica do projecto pressupõe que o rendimento a partir da captação de água vai subir em 20%.

Agricultura de conservação. Há algumas evidências dos benefícios mais amplos da agricultura de conservação em Moçambique e na África subsaariana (ver Quadro 4.1). Isso sugere que há uma grande variação do impacto que a agricultura de conservação pode ter nos rendimentos e custos, mas que os rendimentos geralmente aumentam pelo menos 50% e muitas vezes 100%, com algumas poupanças nos custos, especialmente na mão-de-obra. Devido a grande variedade de circunstâncias, os modelos agrícolas generalizados podem apenas parecer ilustrativos e devem ser mantidos em termos mais amplos.

Enquanto a agricultura de conservação pode ser aplicada para obter um rendimento de resposta numa única cultura, seus benefícios são conseguidos com numa série de culturas, plantio directo sob uma cultura existente. O plantio inicial de feijão, seguido de milho deve ser viável na maioria das regiões de Moçambique, incluindo o rio Zambeze e as províncias de Sofala, e algumas áreas podem também plantar uma terceira safra de gergelim ou de girassol, sem a necessidade de irrigação.

Para estimar um parâmetro dos benefícios que podem ser obtidos a partir de agricultura de conservação, presume-se que seja usada para substituir a cultura do milho com uma rotação envolvendo tanto o feijão bem como o milho. Considera-se que o rendimento do milho seja 40% menor no primeiro ano e depois sobe para 40% a mais, após cinco anos, em cinco etapas iguais. Para o feijão, presume-se que os rendimentos médios são alcançados e que a margem total sobre a cultura adicional de feijão pode ser atribuída à agricultura de conservação. As margens de plantio padrão para feijões não estavam disponíveis, mas em países africanos mais ao sul, a economia da produção de feijão é mais ou menos semelhante à do milho, com valores de culturas similares, custos e margens. Portanto, os benefícios da agricultura de conservação, são compostos por um aumento no valor da cultura do milho de 40% (no valor de cerca de 500 dólares americanos/ ha/época) e um plantio adicional de feijão adicional com uma margem de aproximadamente 200 dólares americanos/ ha/época.

4.4.4 Implicações das Mudanças Climáticas sobre a Produção Agrícola

Consequências das mudanças de precipitação chuvosa. As Mudanças Climáticas é susceptível de aumentar a precipitação média em algumas áreas e diminuí-la em outras áreas (ver secção 4.2.3). Desde que a resposta das culturas à evapotranspiration real seja linear, e que a evapotranspiração real esteja fortemente correlacionada com a precipitação, todas as outras coisas sendo iguais, o impacto total das mudanças na precipitação na produção em todo o país será limitado, com perdas em algumas áreas, compensadas por ganhos em outras áreas. No

entanto, haverá algumas áreas onde as mudanças de precipitação significam que algumas culturas não são mais viáveis em condições de sequeiro e os agricultores devem mudar as culturas ou investir em irrigação. No entanto, as áreas que são ambas secas e que se tornam mais secas estão limitadas à Manica e em alguns locais em Tete.

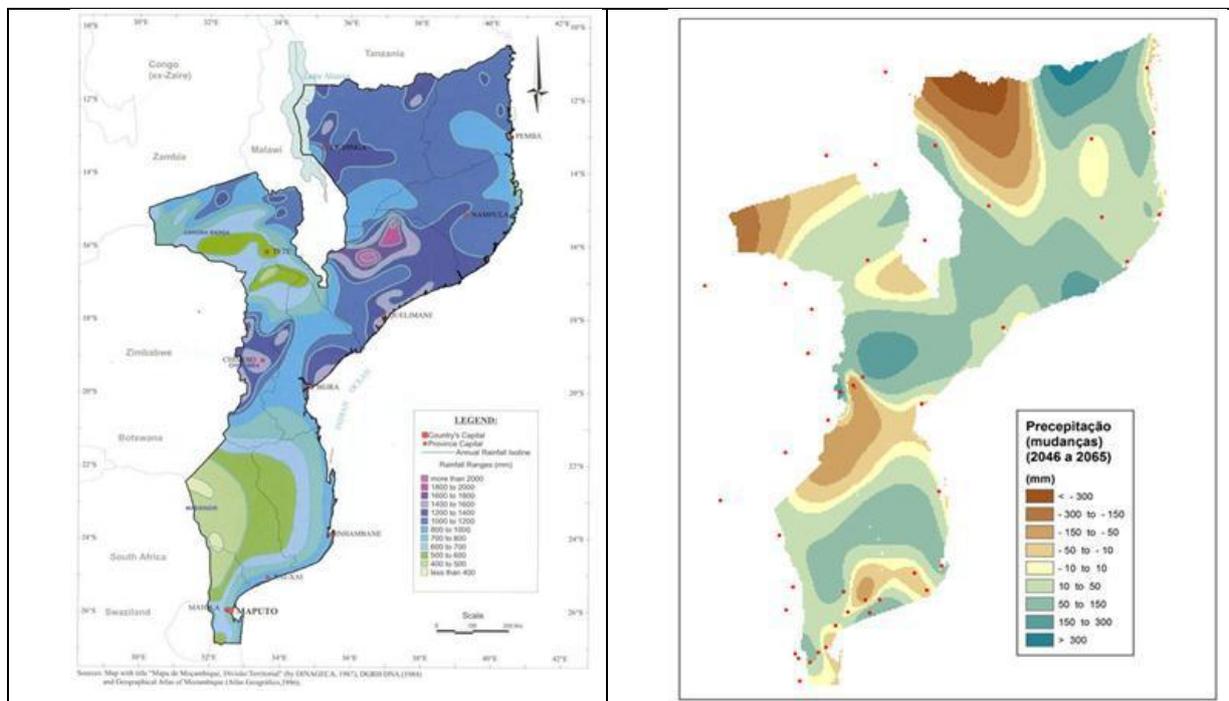


Figura 4-11: Média de precipitação e mudanças de previsão de chuvas

Notas: Mudanças previstas no futuro (2046-2065) na mediana de todas as 7 GCMs para precipitação de chuvas durante o período de plantio de milho, expresso em milímetros de precipitação. Fonte: (Brito 2011)

Na prática, a proteção das culturas da exposição à murcha limiar pode acontecer através de uma redução da precipitação média ou uma maior frequência das secas curtas decorrentes da maior concentração de chuvas, ou ambos.

O mapeamento de aptidão agrícola de terras realizado durante a primeira fase de estudo do INGC indica mais ou menos a área que poderia ser deslocada/alterada para uma situação em que os níveis médios de murchamento ameaçam a sobrevivência da planta e resultam numa perda de produtividade não linear por causa da pouca disponibilidade de água. Uma avaliação visual dos mapas sugere que cerca de 20% da área adequada para o plantio de mandioca estará sujeita a uma mudança ligeira ou significativa em termos de sua aptidão. No entanto, os mapas são apenas apresentados para a mandioca, que não é uma cultura de prioridade para as técnicas de gestão de água para a agricultura, e apresentam uma mudança na adequação, ao invés das áreas onde a adequação está ameaçada.

- Os principais benefícios do Projecto de Apoio à Gestão de Água para a Agricultura derivam do facto de que torna possível o cultivo de culturas durante a estação seca. Em locais onde a irrigação durante a estação seca é limitada pela escassez de água (i.e., longe de grandes rios que têm água permanentemente e de reservas de águas subterrâneas sustentáveis), a redução dos níveis de queda das chuvas decorrentes das Mudanças Climáticas reduzirá o abastecimento de água. No entanto, o investimento feito em técnicas de gestão de água para a agricultura vai ser capaz de retardar ou

reverter o declínio da área irrigada durante a estação seca.

- Existe uma variedade de razões pelas quais os níveis de produtividade são diferentes entre a estação seca e húmida, incluindo a concentração de ozono troposférico e a vulnerabilidade às pragas. Um estudo realizado recentemente sugere que a análise de clima vai ter um impacto significativo no ozono troposférico, reduzindo os níveis de produtividade durante a estação chuvosa. Vai também provocar um aumento nos preços das culturas, das margens para a irrigação durante estação seca e dos benefícios para a gestão de água para a agricultura. O impacto exacto sobre pragas ainda não está claro.
- Em áreas onde uma precipitação reduzida impossibilita a produção de culturas de sequeiro durante anos com níveis médios, a gestão de água vai tornar possível manter a produção, suplementando assim os níveis de precipitação.
- Em áreas onde a precipitação é ainda viável durante anos com níveis médios, poderá estar-se sujeito à danos causados pelo aumento da frequência de períodos secos dentro do período normal de plantio e aí a gestão de água vai dar alguma protecção para as culturas durante esses períodos. Esta secção sobre as vantagens da gestão de água para a agricultura em casos de mudanças climáticas deve estar no sumário executivo e muito mais cedo no texto principal.

Existem três principais fontes de evidência sobre o impacto das mudanças climáticas. A primeira fase do estudo do INGC conduziu uma avaliação convencional do impacto líquido das variações de temperatura mensal e precipitação sobre a adequação das culturas. Na segunda fase, a primeira análise concentrou-se sobre os efeitos das mudanças no equilíbrio de água diária sobre os níveis de produtividade, usando um modelo de CLICROP (Brito 2011). As mudanças climáticas foram tiradas de 7 modelos de projecções de Modelos Globais de Clima, dando evidências de temperatura e precipitação e, portanto, a evapotranspiração. A análise é feita usando uma definição diária (*a daily time-step*) que permite que seja tomado em conta o impacto do aumento da concentração das chuvas. O modelo toma também em consideração as características de humidade dos diferentes tipos de solo em Moçambique. Não se fazem nenhuma considerações sobre as mudanças de dióxido de carbono (CO₂) ou camada de ozono.

A análise é feita para seis culturas: milho, algodão, amendoim, mandioca, soja e sorgo. A *Figura 4.12* apresenta os resultados para milho e soja. As principais conclusões deste estudo são de que os níveis de produtividade de todas as culturas vão diminuir, mas que o declínio difere de cultura para cultura: o milho é a cultura mais afectada, com uma diminuição média prevista no país de 11,1%; a soja tem uma diminuição prevista de 6,4%; o amendoim 4,6%; a mandioca 4,2%; o sorgo 3,5%; e 2,9% de algodão.

A diminuição dos níveis previstos terá uma diferenciação geográfica, com uma diminuição relativa a começar com uma bolsa no oeste da província de Tete com o algodão, para depois se expandir para a região costeira e para o sul com o sorgo, amendoim, mandioca e soja e em seguida, milho como a cultura mais afectada cobrindo uma área maior em Moçambique. Os rendimentos das culturas podem diminuir nas zonas mais afectadas até 30% dos rendimentos presentes como é o caso do milho, em algumas áreas da província de Tete.

A análise acima sugere que o maior impacto das Mudanças Climáticas é susceptível de ser sentida no Vale do Zambeze e em Inhambane. Portanto, estas são o foco natural de investimento para promover a gestão de água para agricultura como uma estratégia para promover a resiliência climática.

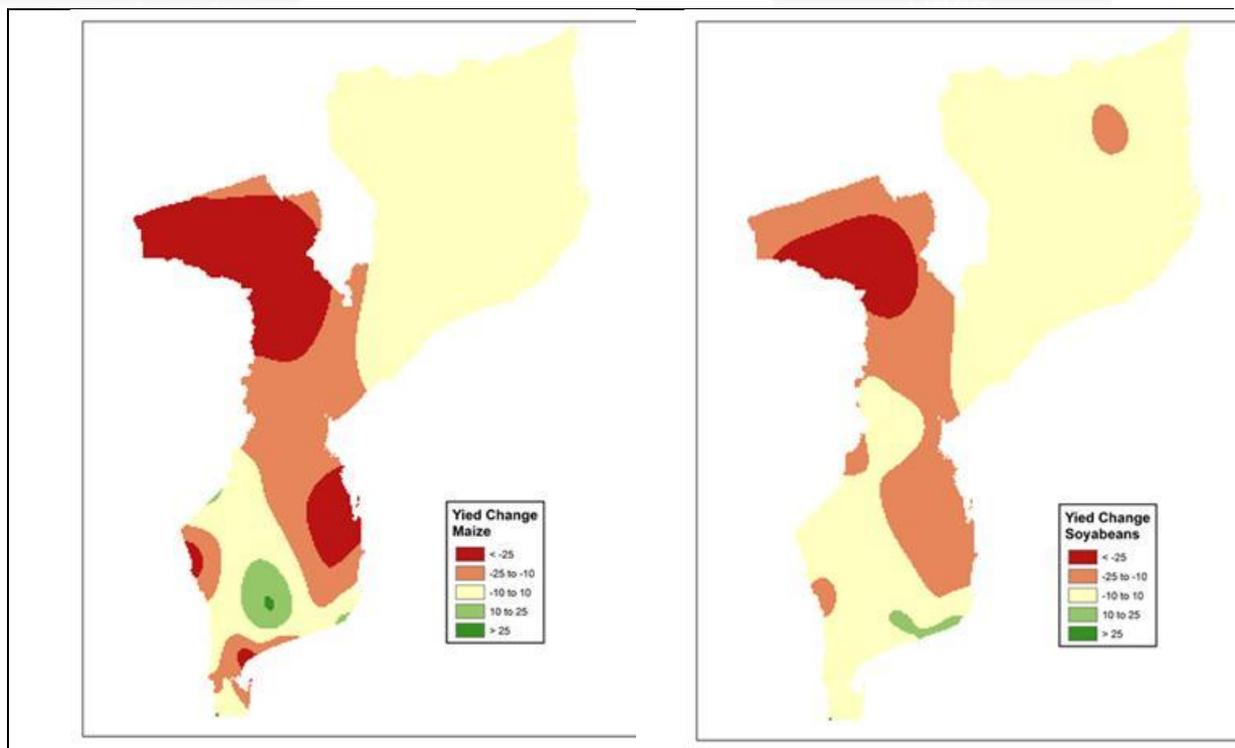


Figura 4-12: Mudanças previstas no futuro (2046-2065) de milho (à esquerda) e soja (à direita) – níveis de culturas expressos em % e em comparação com os níveis actuais

Fonte: (Brito 2011)

Figura 4.12 oculta o facto de que existem grandes variações nas previsões de chuvas da GCM. A Figura 4.13 mostra essas variações, apresentando o rácio futuro:passado dos níveis médios de produção nacional

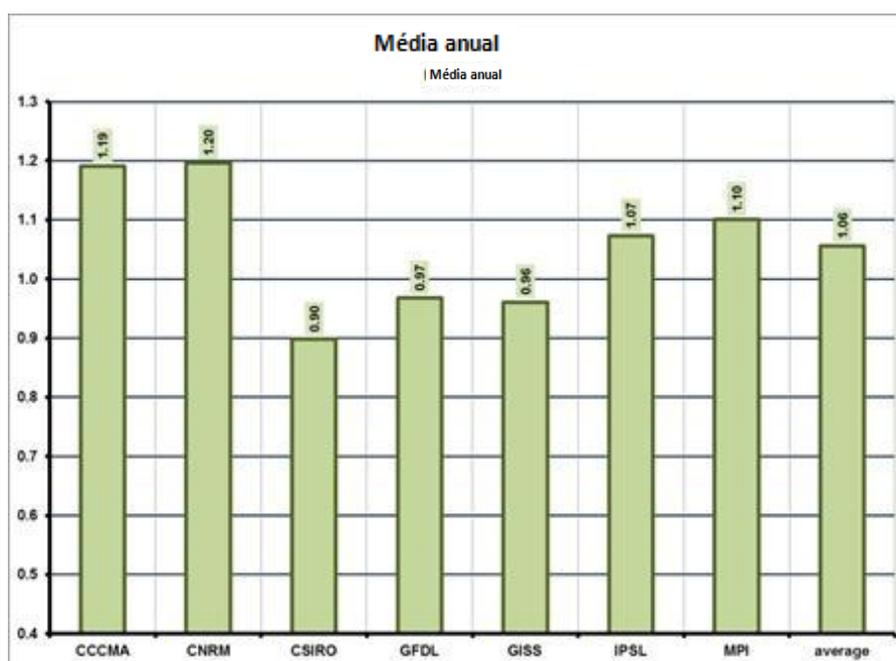


Figura 4-13: A relação de futura precipitação média anual contra a precipitação média anual passada para os sete diferentes GCMs e a média de todos os modelos GCM

Além dos resultados da primeira fase do estudo da INGC, um segundo estudo na segunda fase do Tema 6 adicionou novas dimensões, tendo em conta o impacto do dióxido de carbono (CO₂) e do nível de ozono troposférico (O₃) (Holman 2011). Este trabalho sugere que a redução nos níveis de produtividade devido aos aumentos nos níveis de ozono troposférico (O₃) será maior do que o aumento das altas concentrações de dióxido de carbono (CO₂) e do que as mudanças devidas à temperatura. Há algumas variações regionais em termos de impacto do ozono troposférico (O₃), mas o impacto é sentido em todo o país. A diferença entre as concentrações de ozono troposférico (O₃) entre verão e inverno é susceptível de aumentar, resultando em benefícios ainda maiores a ter da irrigação que permite um plantio e/ou cultivo antecipado na estação seca.

4.4.5 Lista de Referência de Técnicas de Gestão de Água para a Agricultura

Retornos da gestão de água para a agricultura. O projecto vai trabalhar com uma lista de referência de técnicas de gestão de água para a agricultura que se prevê que tragam níveis de produção mais altos, tendo em conta as condições locais e a necessidade de preocupações práticas, tais como a divisibilidade e a robustez. O objectivo final do projecto é de reduzir a vulnerabilidade dos agricultores às mudanças climáticas, e isto só pode ser alcançado se as técnicas de gestão de água para a agricultura fornecerem benefícios suficientes para garantir que as amortizações e outros custos anuais possam ser cobertos, para que os agricultores continuem a usar as técnicas após o fim do projecto. O uso de opções mais baratas também garante que os fundos limitados disponíveis do projecto possam ser usados para beneficiar o maior número de agricultores.

Todas as técnicas de água azul trazem benefícios semelhantes, desde que cumpram com as exigências de irrigação. Assim, para as técnicas de água azul, os melhores retornos serão fornecidos pelas técnicas mais baratas. Para comparar as técnicas de água azul com a captação de água e a agricultura de conservação, é necessário considerar a Relação entre Custo e Benefício, utilizando as informações sobre os custos e benefícios apresentadas na secção 4.8.2. A *Tabela 4-7* apresenta a Relação entre Custo e Benefício de diferentes técnicas de gestão de água para a agricultura e usa números a partir da *Tabela 4-22* para elaborar este raciocínio para fazer a distinção entre os benefícios do uso de irrigação com água azul no cultivo da estação seca e estação chuvosa, cultivo, segundo o discutido na secção 4.4.3. A Relação entre Custo e Benefício apresentado na tabela parece alta, mas isso segundo o ponto de vista dos agricultores e não inclui os custos de formação ou de despesas gerais do projecto, que são incluídos na análise económica total apresentada na secção 4.7.1.

Tabela 4-8: *Relação entre Custo e Benefício das Técnicas de GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA, excluindo a formação e gestão de projectos.*

Papel da f GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA	Benefícios	Custos	Relação entre Custo e Benefício
	\$/ha/época		
Água azul: estação seca	2300	500	4.6
ÁguaÁgua azul: suplementar na época chuvosa/protecção em periodos de seca	350	200	1.8
Captação de água na estação	270	140	2.0
Agricultura de conservação na época chuvosa	740	170	4.4

Nota: o total dos benefícios da agricultura de conservação apenas ocorre após decorridos 5 anos

A relação entre custo e benefício para água azul é com base no uso de uma motobomba e água do rio, com irrigação canalizada e irrigação com uso mangueira, que é a técnica mais barata, de acordo com a análise de custo na secção 4.4.2. O uso de opções mais caras, como a irrigação por gotejamento ou aspersão, envolve custos muito mais elevados (ver *Tabela 4-3* e *Figura 4.2*) e a Relação entre Custo e Benefício baixa para além de 1.5. Isso é insuficiente para justificar o investimento público, quando também são levados em conta os custos de formação e de extensão e de gestão do projecto.

Técnicas seleccionadas para a lista de referência. A maior parte das actividades do projecto vai basear-se na oferta aos agricultores de um menu de 6 pacotes seleccionados que se prevê que tragam melhor retorno em Moçambique. As técnicas seleccionadas são apresentadas na *Tabela 4-9* e são descritas mais detalhadamente abaixo. Os critérios de inclusão das técnicas de gestão de água para a agricultura na lista de referência são explicados na secção 4.5.2.

Tabela 4-9: Resumo dos Pacotes Seleccionados

	Zona	Planta	Fonte	Elevação	Distribuição	Irrigação	Custo (\$/ha/época)
A1: Moto+superfície	Vala	Legumes	Rio	Moto	Canal	Sulco	670
A2: Moto+tubo	Vala	Legumes.	Rio	Moto	Tubos	Mangueiras	420
B: Poço aberto	Vala	Legumes	Poço	Moto/pedal		Mangueiras	720
C: Furo raso	Vala	Legumes	Furo	Electrobomba		Mangueiras	660
D: Captação de água	Terras altas	Todas	Serra/vala				
E: Agricultura de conservação	Todas	Todas	Sem plantio directo/cobertura de capim				
A1: Moto+superfície	Vala	Legumes	Rio				Moto

Notas. Todas as opções incluem o uso de calendário para otimizar a aplicação da água de irrigação.

A. Nascente, motobomba, canalização e mangueiras. O uso de motobombas para extrair água de rios e lagos é generalizada em Moçambique e há muitas posições em vales e zonas húmidas onde esta prática é rentável. O projecto vai ajudar a disponibilizar motobombas para mais agricultores.

A eficiência de irrigação relativamente elevada associada à conduta canalizada e o uso de mangueiras no campo significa que a área cultivada por cada motobomba é maior do que com os canais e sulco de irrigação e a relação entre custo e eficiência da motobomba é maior. O custo da motobomba mais tubos/mangueiras é apenas cerca de 560 dólares americanos/ha, em comparação com cerca de 1100 dólares americanos/ha para canais/sulcos. Portanto, o projecto vai apoiar a instalação de tubos e mangueiras para os agricultores que já utilizam motobombas ou para os agricultores que estão a beneficiar de ajuda para a compra de motobombas.

Como uma variante desta opção, a captação de água em pequenos rios pode beneficiar o investimento adicional com a construção de uma pequena barragem ou estrutura de desvio e abastecimento por gravidade onde for possível. Se isso substitui a necessidade de uma motobomba, pode ser mais barato, desde que os custos das obras sejam menos de 10.000 dólares americanos/ha irrigado.

B. Poços de baixo custo, pedal ou outras bombas, tubos e mangueiras. Poços de baixo custos são um recurso de custo eficaz de água onde o lençol freático se encontra suficientemente perto da

superfície. O custo anual de um poço aberto também é aproximadamente o mesmo que o custo de canalização a partir de fontes de água que estão a mais de 100 m do campo.

Para pequenas machambas com recursos limitados, podem ser usadas bombas de pedal. No entanto, a área cultivável com bombas de pedal é muito pequena e os benefícios líquidos não são atraentes, a menos que a mão-de-obra seja considerada de pouco valor e os agricultores não sejam capazes de aumentar a sua contribuição de custo para a compra de motobombas. Se tomar-se em conta uma bomba de pedal, as famílias devem estar cientes da necessidade de mão-de-obra e devem ter pessoal apropriado para operar as motobombas.

Com custo de \$ 1/dia do trabalho, os custos anuais de bombas de pedal e poços abertos são aproximadamente 720 dólares americanos/ ha/época, supondo que sejam combinados com tubos e mangueiras. (Se forem usados com irrigação de sulco, os custos são de aproximadamente 40% maior, devido a reduzida eficiência.) O uso de motobombas em vez de bombas de pedal pode reduzir o custo para aproximadamente 560 dólares americanos/ ha/época. Assim, os agricultores devem ser conscientes de que investir em bombas de pedal só é viável se eles não forem capazes e pagar o investimento extra em motobombas, ou se eles tiverem a mão-de-obra que tenha um valor significativo de menos de 1dolar americanos por dia.

Esta opção não está bem estabelecida em Moçambique e precisará ser cuidadosamente monitorizada e ajustada ou abandonada, se houver problemas.

C. Furo raso, electrobomba, tubos e mangueiras. Existe uma variedade de técnicas para o desenvolvimento de furos de baixo custo, incluindo um furo rota-lama, percussão e furos à jacto. Os rota-lamas e furos de tudo ainda não são usados em Moçambique, mas podem ser uma fonte muito barata de água, com os custos de apenas 11 dólares americanos/ ha/época, e tem havido uma boa experiência em outros países africanos. A técnica depende de desenvolver uma série de empresas com as habilidades e equipamento para se alcançar um bom desenvolvimento. O projecto vai apoiar a criação de três dessas empresas no Zambeze e três na cidade da Beira. Em Mabote, é provável que haja menos espaço porque os lençóis freáticos são muito baixos.

Quadro 4.4: Furos Rota Lamas

O equipamento de perfuração de furos rota-lama consiste em metais de 2 polegadas ajustados com pedaço cortante, apetrechado com dentes para raspar o solo. A coluna de tubo é ajustada por uma alavanca e baixada para atingir o fundo do poço. No momento do impacto o tudo é virado para cerca de 45 graus através de uma manivela, que resulta em martelamento e raspagem. O poço é mantido cheio de água e ao se levantar a coluna de tubos, o perfurador fecha e abre o cume do tubo para que a água e o material raspado sejam bombeados e saiam fora do tubo de perfuração. Para selar as paredes do poço, com vista a prevenir rupturas e facilitar o transporte de cortaduras, mistura-se bosta de vaca com água para se fazer lodo.

A técnica de rota-lama tem tido muito sucesso em solos lamacentos e sedimentados. Não são apropriados para solos arenosos ou formações rochosas que requerem diferentes técnicas, tais como um martelo de pedra.

As perfurações podem ser feitas localmente e podem-se constituir e treinar equipas de perfuradores locais. Uma equipa de quatro técnicos bem formados pode normalmente perfurar um poço em aproximadamente um dia. O custo da perfuração do poço vai depender da profundidade e da tubagem, mas um custo indicativo é de aproximadamente 100 dólares americanos para poço de 10 m de profundidade.

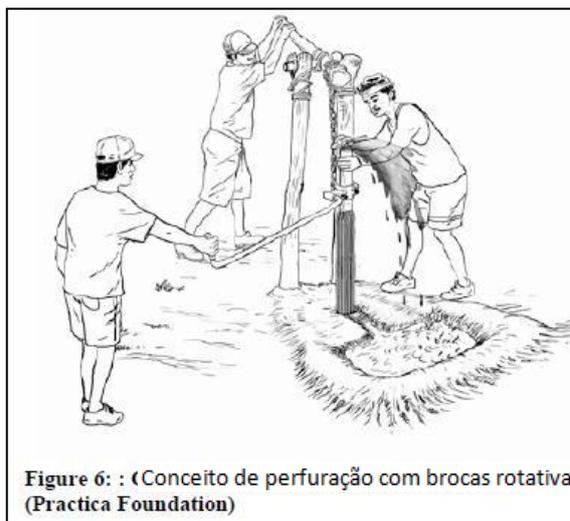


Figure 6 : (Concepto de perfuração com brocas rotativas (Practica Foundation))

Para poços com profundidade igual ou superior a 7 m, é necessária uma electrobomba, alimentada por corrente eléctrica (se disponível), por um gerador à diesel ou por energia solar. O custo da energia vai depender da distância entre a fonte de fornecimento e dos cabos eléctricos necessários para a nova instalação. Se a rede estiver disponível dentro do local de plantação, com cerca de 2 km, normalmente será mais barato instalar novos cabos do que investir num gerador ou numa bomba solar. Os custos anuais de gerador à diesel e os de uma bomba solar são semelhantes, embora quase todos os custos da bomba solar são para investimento, sendo de 80% dos custos de gerador para o combustível. Onde os agricultores forem capazes de pagar a contribuição de custo para bombas solares, são propensos a preferir esta opção, em parte porque o subsídio de 50% em entradas é menor do que o subsídio de 90% sobre o capital. No entanto, a experiência em Moçambique sugere que bombas solares podem dar mais problemas com roubo de geradores, porque não é prático remover os painéis para um local seguro, com regularidade.

Partindo do principio de que as bombas são combinadas com irrigação de mangueira, dando uma eficiência de irrigação de 85%, o custo de furos de tubo e electrobombas é aproximadamente 660 dólares americanos/ha/época, que é o mesmo que a opção A, com canais e sulco de irrigação.

D/E/F. Captação de água, agricultura de conservação e drenagem de zonas húmidas. Estes são descritos na secção 4.4.1.

4.5 ACTIVIDADES DO PROJECTO

A experiência inicial no âmbito do desenvolvimento agrícola nos anos setenta levou à abordagem de projectos integrados de desenvolvimento agrícola (PIDAs), que normalmente envolviam uma série de actividades complementares, incluindo:

- Serviços de consultoria, estudo, extensão e pesquisa aplicada prestados por um misto de funcionários do governo e ONGs
- Facilitação do fornecimento físico de novos equipamentos, quer directamente quer através de comerciantes e fabricantes privados
- Serviços financeiros, incluindo o crédito e poupança convencionais e outras formas de financiamento, tais como as oferecidas nos termos de um acordo com fornecedores e agentes privados
- Capacitação a nível local e, potencialmente, a nível nacional

A experiência com os PIDAs por sua vez suscitou questões quanto à sustentabilidade da abordagem e dos esforços para dar apoio mais selectivo a áreas que eram consideradas como sendo as que mais limitavam o desenvolvimento. Os exemplos disso incluem a experiência de Moçambique com o PROAGRI, onde o apoio foi dado à capacitação institucional, sem um financiamento explícito à altura para o investimento. Num outro extremo tem havido programas em algumas partes da África onde os projectos somente forneceram equipamento de irrigação, com pouco apoio técnico. A experiência com estes programas mais selectivos também é problemática e sugere alguma medida de equilíbrio é necessária no apoio a projectos que combinam o apoio técnico e em equipamentos.

O PAGAA irá se concentrar nos primeiros dois elementos dos PIDAs convencionais acima alistados. Contudo, o programa de subsídio incluirá um elemento de crédito para alguns agricultores e terá um elemento de capacitação indirecta. O equilíbrio entre os diferentes tipos de apoio varia de acordo com os diferentes tipos de técnicas de gestão de água para a agricultura, conforme apresentado na *Tabela 4-10*.

Tabela 4-10: *Apoio necessário para técnicas Gestão de Água para a Agricultura incluídas na Lista de Referência*

	Opção de Gestão de Água incluída na Lista de Referência	Equipamento subsidiário	Desenho	Formação e extensão
	Captação do rio, motobomba, tubos, mangueiras	Médio	Médio	Médio
	Poços abertos de baixo custo, motobombas/bombas de pedal, tubos, mangueiras	Baixo	Médio	Médio
	Poços tubulares rasos, bombas eléctricas, tubos, mangueiras	Elevado	Médio	Médio
	Captação de água	Baixo	Baixo	Baixo
	Agricultura de conservação	Baixo	Baixo	Elevado
	Drenagem de terras húmidas	Médio	Elevado	Médio

4.5.1 Selecção dos Beneficiários

Em cada aldeia, nas primeiras discussões da EMC far-se-á a selecção dos beneficiários. Será apresentada a abordagem do projecto, incluindo as técnicas de gestão de água na lista de referências e a proposta de mecanismos para subsidiar o equipamento e outros custos. Em

particular, a distinção entre agricultores vulneráveis e agricultores estáveis será esclarecida. Cada agricultor que estiver interessado em participar terá de se classificar como sendo um agricultor vulnerável ou estável, e o seu juízo será sujeito à aprovação dos outros membros da EMC. Espera-se que o estatuto social de ser classificado como agricultor estável seja suficiente para encorajar os agricultores estáveis a aceitar valores mais reduzidos de subsídio que lhes forem oferecidos.

Se a demanda dos beneficiários estiver acima do apoio que o projecto está à altura de prestar, então a EMC terá de definir um método de definição de prioridades. As opções que serão sugeridas incluem as seguintes:

- Um processo aleatório, por meio de sorteio
- Cobrança de uma taxa de filiação, cuja receita será usada para possibilitar o aumento do número de beneficiários
- Definição de um critério físico simples, tal como a terra por cada membro do agregado familiar para os agricultores vulneráveis, ou o contacto com os mercados, para os agricultores estáveis
- Aprovação por um grupo de líderes comunitários

4.5.2 Seleção de Técnicas de Gestão de Água para a Agricultura

O projecto terá como objectivo apoiar as técnicas que apresentam a maior probabilidade de serem sustentáveis para cada beneficiário. Isto começará com a discussão em grupos na EMC sobre as vantagens e desvantagens de cada técnica na lista de referência. Estas discussões iniciais incluirão a consideração de eventual necessidade de colaboração entre os beneficiários, nos casos em que alguns investimentos e operações precisam ser compartilhados. As discussões em grupos certificar-se-ão de que o maior número possível de agricultores da localidade participe na avaliação e seja exposto ao projecto e às oportunidades oferecidas pela GAA. Após a realização da selecção básica, os beneficiários prosseguirão para um desenho mais detalhado, o que poderá ser feito directamente com os extensionistas.

As discussões com os beneficiários sobre a sustentabilidade incluirão tanto a viabilidade técnica como a económica. A escolha da cultura é afectada pelas circunstâncias técnicas e económicas e influencia a viabilidade das técnicas de GAA. A análise económica feita nesta proposta de projecto apresenta indicadores do desempenho esperado que deverão ser discutidos com os agricultores. Contudo, visto que a maioria dos critérios são subjectivos e imprevisíveis, é impossível definir um único indicador a atingir. Em particular, a forma como as técnicas de GAA são apropriadas aos agregados familiares depende da exposição a diferentes riscos (por exemplo, fonte de água, disponibilidade de mão-de-obra, preço da cultura ou fiabilidade do equipamento) e da vulnerabilidade a diferentes riscos, dependendo do acesso a outras fontes de rendimento. A análise nesta proposta apresenta uma estrutura analítica para avaliar a adequação e deveria tornar possível impedir que técnicas completamente inadequadas sejam usadas. Contudo, a mesma deve ser aplicada de uma forma pragmática de acordo com as circunstâncias locais.

Viabilidade técnica. A viabilidade técnica das técnicas de GAA dependerá largamente dos solos e das fontes de água. Os solos podem ser classificados em cinco tipos conforme apresentado na *Figura 4.14*. Esta classificação baseia-se na classificação da FAO da adequação dos solos para a irrigação, que é uma adaptação da classificação do Serviço de Recuperação de Terras dos

Estados Unidos, e aborda uma ampla variedade de factores que determinam a adequação dos solos para a agricultura de irrigação prolongada.

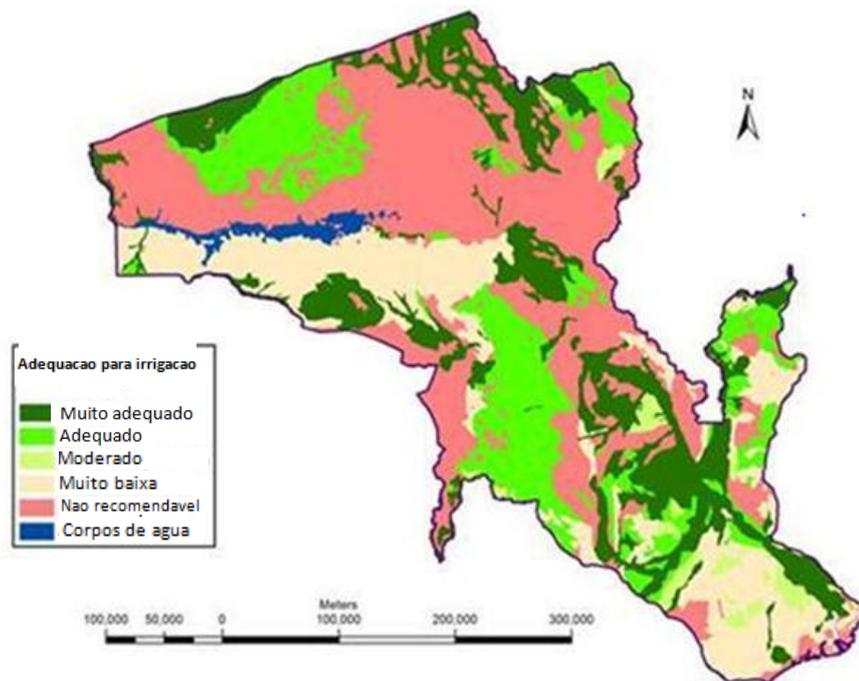


Figura 4-14: Adequação dos solos para a irrigação de superfície na bacia do Zambeze

Serão definidas três zonas agro-ecológicas, com acesso diversificado a recursos hídricos.

- Nas áreas secas, a maioria dos rios são sazonais e somente em algumas ocasiões haverá acesso a água subterrânea, muitas das vezes em aquíferos com profundidade de mais de 100m. Nestas áreas, pode existir um potencial para a irrigação suplementar através de pequenas barragens e represas. A agricultura de conservação e a captação de água poderão ser de ajuda no melhoramento da humidade do solo e assim aumentar o nível e a segurança da produção durante a estação chuvosa.
- Nas áreas caracterizadas por terras altas e zonas baixas nos vales, existe uma série de fontes de água, incluindo rios, nascentes e águas subterrâneas. Muitas fontes de água estão disponíveis na estação seca abrindo o potencial para a irrigação de uma segunda cultura. As técnicas de gestão da humidade dos solos continuam sendo úteis e poderão ajudar no alargamento das estações de cultivo e de opções para a rotação das culturas. Um exemplo de áreas com provável acesso a fontes de água ao longo dos rios é apresentado na *Figura 4.15*.
- Terras húmidas têm acesso permanente a águas superficiais e podem usar uma variedade de técnicas de GAA. Estas podem estar em áreas costeiras de baixa altitude ou nos vales pantanosos do interior. A drenagem e o controlo das inundações são tão importantes quanto a irrigação.

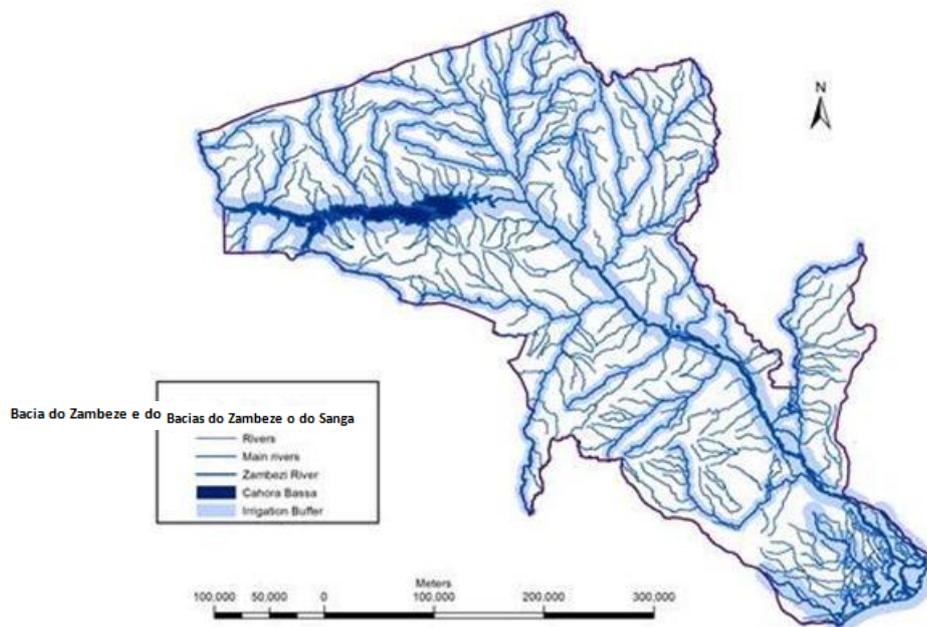


Figura 4-15: Áreas com potencialidade de acesso a fontes de águas dos rios na bacia do Zambeze

Tabela 4-11: Guia de viabilidade técnica das técnicas de GAA

Solos	Tecnologias de GAA
Muito apropriado	<ul style="list-style-type: none"> Todas as tecnologias de GAA são viáveis
Apropriado	<ul style="list-style-type: none"> Todas as tecnologias de GAA são viáveis, embora com constrangimentos que podem ser facilmente resolvidos
Moderadamente apropriado	<ul style="list-style-type: none"> Potencialmente viáveis, embora com constrangimentos que podem ser resolvidos, mas com dificuldades
Marginalmente apropriado	<ul style="list-style-type: none"> Maiores constrangimentos, difíceis de resolver, excepto em casos especiais
Inapropriado	<ul style="list-style-type: none"> Nunca pode ser apropriado para GAA
Recursos hídricos	Tecnologias de GAA
Áreas secas, com poucos rios e água subterrânea	<ul style="list-style-type: none"> Técnicas para promover a capacidade de retenção da humidade dos solos, notavelmente a agricultura de conservação Algumas possibilidades de pequenas barragens, represas e captação de água Poucos sítios com águas subterrâneas profundas, combinados com irrigação eficiente dos campos
Terras altas e zonas baixas nos vales, com rios, nascentes e águas subterrâneas	<ul style="list-style-type: none"> Captação de águas superficiais nas baixas dos vales Águas subterrâneas nas baixas dos vales e proximidades Desvio de nascentes e rios, por gravidade ou por bomba Alcance limitado de armazenagem da água a ser combinado com irrigação eficiente dos campos Agricultura de conservação nas terras altas
Terras húmidas, com acesso permanente a águas superficiais	<ul style="list-style-type: none"> Drenagem e controlo de inundações Diques e estruturas de desvio para o controlo da água Bombagem a partir de poços de pouca profundidade e correntes de água

Seleção de culturas. A adequação das técnicas de GAA depende das culturas em cultivo, que, por sua vez, depende das circunstâncias técnicas e económicas.

Tabela 4-12: Adequação de técnicas de GAA para as diferentes culturas

Culturas	Tecnologias de GAA
Mandioca	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas para promover a capacidade de retenção da humidade do solo e redução da erosão, incluindo a agricultura de conservação • Técnicas de captação da água
Milho	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas para promover a capacidade de retenção da humidade do solo e redução da erosão, incluindo a agricultura de conservação • Captação e conservação da água através de diques de desvio das águas • Bombagem a partir de poços de pouca profundidade e correntes da água para a irrigação suplementar de produção durante e fora da estação chuvosa
Arroz	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de diques e nivelamento dos campos de arroz • Estruturas de baixo custo para a admissão/o desvio de águas por forma a regular e gerir as águas nos campos de arroz • Drenagem e controlo de inundações
Vegetais	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de micro irrigação na machamba, especialmente para a produção na época seca incluindo: abertura de poços de baixo custo; pequenas bombas (de pedal, de motor, solares); irrigação em regime de gotejamento e aspersão
Fruteiras (banana, abacate, ananás, manga)	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologias de irrigação na machamba • Técnicas de captação da água que atingem as raízes profundas das fruteiras • Estruturas de baixo custo para a admissão/ o desvio e conservação das águas por forma a regular e melhorar a gestão das águas • Trabalhos de drenagem e controlo de inundações
Hortas familiares e escolares	<ul style="list-style-type: none"> • Captação das águas pluviais ou tanques de recolha da água dos telhados • Pequenas reservas na machamba (ex. tanques subterrâneos ou tanques para irrigação por gotejamento) • Jogos de irrigação por sistema de gotejamento
Culturas de rendimento em regadio (cana de açúcar, tabaco, algodão)	<ul style="list-style-type: none"> • Desvio de rios e pequenas barragens • Motobombas e aspersores • Agricultura de conservação
Culturas de rendimento em sequeiro (algodão)	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas para promover a capacidade de retenção da humidade do solo e redução da erosão, incluindo a agricultura de conservação • Técnicas de captação da água • Trabalhos de drenagem e controlo de inundações nas zonas planas férteis

Adequação económica. Cerca de 90% dos recursos serão destinados ao apoio das técnicas de GAA que se espera tenham a maior probabilidade de serem rentáveis. Espera-se que estas sejam principalmente as técnicas incluídas na lista de referência apresentadas na secção 4.4.5., com algumas variações destas opções. Cerca de 10% do orçamento será reservado aos testes da viabilidade técnica das novas tecnologias nos locais onde é improvável que as técnicas constantes da lista de referência sejam rentáveis, mas que, no entanto, se considera útil fazer testes de viabilidade. Se as novas tecnologias que forem testadas se mostrarem viáveis, então poderão ser adicionadas à lista de referência para o apoio normal do projecto.

A adequação das técnicas de GAA em uma determinada exploração dependerá de uma ampla variedade de circunstâncias, incluindo: o tamanho da exploração, o sistema de cultivo, as condições climáticas, as fontes locais de água e os solos, a mão-de-obra agrícola e habilitações da mesma, e uma variedade de questões socioeconómicas. O projecto oferecerá as várias

tecnologias na forma de um menu, junto com orientações explicando como as diferentes características afectam a adequação. O seu objectivo não será o de definir tecnologias ideias a serem promovidas em cada área do país, embora possa ser útil para mapear a provável adequação das diferentes tecnologias, como forma de sumarizar as conclusões. A *Tabela 4-13* fornece as directrizes para a adequação das tecnologias de GAA para as diferentes zonas socioeconómicas, agregados familiares e tipos de agricultura.

Tabela 4-13: Adequação económica das tecnologias de GAA

Zonas socioeconómicas	Tecnologias de GAA
Pequenos agricultores dinâmicos, com acesso a insumos e explorações de pelo menos 2ha	<ul style="list-style-type: none"> • Pequenos desvios e represas • Motobombas e bombas solares • Distribuição canalizada • Mangueiras flexíveis • Micro aspersores • Agricultura de conservação
Periferias urbanas com grande potencial de produção de frutas e vegetais	<ul style="list-style-type: none"> • Poços abertos e poços tubulares rasos melhorados • Motobombas e bombas de pedestal • Distribuição canalizada • Mangueiras, micro aspersores
Áreas de agricultura mista com bom acesso a fontes alternativas de emprego	<ul style="list-style-type: none"> • Captação de água • Motobombas e bombas solares • Sistema de gotejamento, micro aspersores, motobomba californiana
Agricultores marginais nas áreas com razoável coesão social	<ul style="list-style-type: none"> • Pequenas represas • Distribuição canalizada • Aluguel de motobombas • Agricultura de conservação
Características do agregado familiar	Tecnologias de GAA
Bom acesso ao mercado	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigação de custo mais alto em explorações para produção de culturas de alto valor, provendo maior controlo das águas e da produção
Bom acesso ao crédito	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologias de GAA de custo mais alto
Disponibilidade de mão-de-obra do agregado familiar	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de mangueiras em vez de aspersores e sistemas de gotejamento • Bombas de pedal em vez de motobombas • Potenciais poupanças de mão-de-obra de agricultura de conservação ainda são úteis, mas relativamente de pouca importância
Boa rede de competências agrícolas e acesso a extensão	<ul style="list-style-type: none"> • Mais fácil justificar grandes despesas em GAA que dependa do uso de sementes e insumos melhorados para obter melhor resposta de produção pela água • Mais fácil praticar a agricultura de conservação que dependa da habilidade de adaptação a problemas que vão surgindo
Facilidades de acesso a novas terras	<ul style="list-style-type: none"> • Usualmente mais rentável abrir novas terras em vez de intensificar o uso de terras existentes usando os investimentos de GAA • Debates comunitários sobre os custos ambientais da limpeza de matas
Direitos claros de uso e aproveitamento da terra	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-requisito para investimentos de GAA
Importância do gado	<ul style="list-style-type: none"> • Eventual necessidade de custos adicionais para a vedação ou pastorícia para manter o gado longe das culturas ou matérias vegetais
Existência de comerciantes e fornecedores	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-requisito para ampla adopção de tecnologias de GAA

Teoricamente, deveria ser possível usar os critérios acima para demonstrar as áreas de maior adequação das diferentes tecnologias de GAA. Por exemplo, a FAO mapeou a adequação das áreas de GAA no âmbito do Projecto para a Solução de Águas Agrícolas (AWSP) em 5 países africanos (Burkina Faso, Etiópia, Gana, Tanzânia e Zâmbia) e em 2 estados indianos (FAO 2011). A abordagem toma em consideração o seguinte: disponibilidade da água (água subterrânea superficial ou de pouca profundidade); densidade populacional e níveis de pobreza; e um índice que mostra até que ponto a água é uma limitante, baseado numa interpretação perita dos dados sobre zonas de subsistência e tipologias de agricultores (baseado em dados participativos), mais os dados sobre a escassez da água e sua disponibilidade por pessoa. Estes indicadores são aplicados com várias ponderações a motobombas, desvio de rios, captação de água e a conservação da água no solo.

O projecto SPAWM produzirá mapas similares aos que foram elaborados pelo AWSP, para as três áreas centrais de onde irá operar. As actividades do projecto SPAWM em si farão a recolha de dados participativos sobre as condições de vida que são parte da metodologia da FAO. O projecto não irá produzir mapas como um estudo de base separado pois isto seria oneroso e consumiria o tempo, quando as actividades do projecto em si prevêem uma maneira mais rigorosa e económica de recolher os dados requeridos. O requisito de se providenciar mapas de adequação como parte da monitoria do projecto ajudará a garantir uma abordagem consistente.

4.5.3 Subsídio para Equipamentos, Insumos, Provedores de Serviços e Comercialização

Subsídio para equipamentos e insumos de GAA. O subsídio alocado para a aquisição de equipamentos e insumos será o seguinte:

- para os agricultores mais pobres, 90% do custo do equipamento no primeiro ano, 50% do custo de insumos durante o primeiro ano, e 25% durante o segundo ano, sem nenhum subsídio no terceiro ano
- para os agricultores estáveis, 50% do custo do equipamento sem subsídio para insumos

Cada centro terá um orçamento anual fixo, a ser utilizado para equipamentos, insumos e custos operacionais, e este será reservado para cada EMC. A alocação deste orçamento ao nível dos centros será definido a cada ano em um Programa de Trabalho Anual (PTA) para o centro, com base na evidência mais recente de resultados do ano anterior. O PTA para o primeiro ano será feito após vários meses do início do projecto e antes da primeira campanha. Será preciso ter alguma flexibilidade na aprovação dos gastos reais e desvios de aplicação do orçamento alocado aos centros serão permitidos desde que seja apresentada uma justificação clara para a escolha de diferentes técnicas de GAA que requerem o apoio. Razões potenciais podem incluir baixo apoio dos agricultores ou problemas em alcançar melhorias de produção esperadas.

Sempre que possível, os equipamentos e insumos serão adquiridos localmente no centro, para incentivar os agentes e fornecedores locais. Isso será feito, apesar do facto de que os preços locais são mais elevados que os preços de Maputo. Se houver problemas com a disponibilidade local, ou se os preços forem mais de 25% mais elevados em relação aos de Maputo, então o projecto pode considerar fazer as compras a nível central. No entanto, antes de fazer isso, o projecto irá realizar uma avaliação realista do custo de seu próprio tempo em organizar a sua aquisição a nível central, para verificar se é rentável.

Os agricultores vulneráveis terão a opção de pagar a sua comparticipação durante a entrega dos equipamentos ou insumos, ou na colheita seguinte. Os agricultores estáveis terão de dar a sua comparticipação durante a entrega. A receita arrecadada será depositada em uma conta do projecto a nível central, e estará sujeita a demonstrações financeiras e fiscalizações mensais regulares.

Subsídio para a agricultura de conservação. A maioria dos projectos que apoia a agricultura de conservação em Moçambique fornece subsídios apenas para os equipamentos e insumos da agricultura de conservação. Em alguns casos, os principais custos para a agricultura de conservação são os de mão-de-obra extra necessária para a colocação de matéria vegetal para a fertilização da terra. Em outros casos, o principal custo da agricultura de conservação é o risco de produção reduzida nos primeiros anos, enquanto se melhoram os solos e se controlam as ervas daninhas. Os agricultores vulneráveis não se podem dar ao luxo de correr os riscos de mão-de-obra reduzida, e a experiência com a agricultura de conservação sugere que muitas vezes há uma alta taxa de abandono nos dois primeiros anos. Um pacote de subsídios para equipamentos e insumos normalmente vale somente 300 a 500\$/ha/época, em comparação com as perdas de produção temporárias que podem valer cerca de 600 \$/ha/época. Portanto, alguma forma adicional de subsídio é necessária para sustentar o interesse por vários anos e alcançar os benefícios substanciais que são possíveis a médio prazo.

Dar remuneração pela perda de produção seria propenso à manipulação e abuso, sobretudo se for fornecida em dinheiro. Seria igualmente difícil de administrar, independentemente de ter sido pago em dinheiro, em ajuda alimentar ou comida pelo trabalho, ou com um sistema de vales.

O projecto dará subsídios adicionais para a agricultura de conservação, proporcionando uma 'quota dupla' de insumos. Isso não vai acrescentar custos adicionais de administração, e pode ser justificado pelo facto de os agricultores poderem utilizar os insumos extras de outros campos, a fim de melhorar os rendimentos nestes campos, dando deste modo alguma protecção aos rendimentos iniciais mais baixos nas áreas da agricultura de conservação. O esquema terá de ser discutido cuidadosamente com os agricultores a fim de incentivá-los a usar os mesmos insumos na agricultura de conservação e na agricultura convencional, de modo a que haja uma comparação justa no desempenho das duas.

Construtoras de poços tubulares de baixo custo. O projecto vai fornecer equipamentos para 9 construtoras de poços tubulares, com 3 a operar em cada centro. O equipamento a ser fornecido será especificado por uma empresa especialista internacional ou uma ONG, e pode incluir *rota-sludge*, percussão e perfuração por jacto. A empresa internacional ou ONG também vai organizar uma formação para as construtoras. As construtoras irão alugar o equipamento de perfuração do projecto, fazendo um pagamento igual a 10% do custo total no final de cada ano. O contrato de arrendamento vai incluir uma cláusula que exige que a construtora mantenha registos de cada poço construído, e irá especificar um número mínimo de poços que a construtora deve abrir. Se este nível de actividade não for cumprido, o equipamento pode ser retirado e fornecido a uma outra construtora.

A rentabilidade das várias técnicas será monitorada pelo especialista nacional em gestão agrícola e M&A, como parte do relatório anual.

Apoio à comercialização. Há alguma evidência de que o aumento da produção em Caia, que surgiu a partir das actividades anteriores do INGC, nem sempre encontrou um bom mercado e tem sido desperdiçado. Investigações na Beira sugerem que, se puderem ser feitos contactos iniciais, haverá uma boa demanda para o novo produto, e os comerciantes na Beira trabalham com uma ampla rede de fornecedores, muitas vezes de lugares mais longe que Caia. Os contactos são feitos facilmente com telefones celulares, e os comerciantes da Beira estão dispostos a organizar o transporte uma vez que eles desenvolverem confiança nos agricultores. No entanto, estabelecer essa confiança inicial envolve um investimento substancial por parte dos agricultores no transporte e no tempo que precisa ser mantido por várias entregas. É provável que condições similares se apliquem em Quelimane, numa escala menor.

Os agricultores em Caia precisam demonstrar aos comerciantes da Beira que, se um comerciante organizar o transporte para o escoamento, a qualidade e o volume dos produtos podem ser garantidos. Para facilitar o estabelecimento daquela confiança inicial, SPAWM vai firmar um contrato com os transportadores locais para o transporte do produto de cada nova aldeia, em três ocasiões, durante a primeira estação de colheita. Aos agricultores da aldeia dar-se-á a conhecer os termos deste contrato e o facto de que o mesmo será por um período limitado e que eles devem estabelecer suas próprias relações directas com os comerciantes da Beira, para que possam continuar a vender os produtos nos próximos anos. Quanto aos agricultores vulneráveis, é provável que seja necessária alguma forma de intermediário local para agruparem os seus produtos e criar um ponto de contacto central e confiável para os comerciantes da Beira, Quelimane e outros mercados. Uma pequena quantia de 5000USD por ano foi incluída no orçamento do projecto para fornecer incentivos temporários para ajudar a estabelecer contactos entre os comerciantes e os agricultores.

Componente de produtores subcontratados. O projecto dará apoio aos agricultores comerciais que estiverem preparados para assumir um compromisso para prestar assistência técnica e de comercialização a produtores subcontratados. O subsídio concedido por SPAWM tem que ser de acordo com o previsto nas principais áreas do projecto: os agricultores vulneráveis irão receber 90% do investimento e 50% de insumos; e os agricultores estáveis receberão 50% dos custos de investimento. Esta componente pode operar em todo o país, aproveitando qualquer agricultor comercial que esteja interessado em participar de tal esquema. Para a componente de produtores subcontratados, há oportunidades conhecidas perto de Maputo.

4.5.4 Formação e Extensão

Organização de formação e extensão. O programa de formação e extensão terá lugar através de uma hierarquia de recursos, como mostra a *Tabela 4-14*.

Tabela 4-14: Hierarquia do Pessoal

	Número	Pessoal de SPAWM	Pessoal que não é de SPAWM
Nível Nacional	1	Chefe do grupo Especialista da GAA Especialista em Agronomia Gestão Agrícola e M&A	Chefes de Departamento do MINAG Directores do INGC
Regiões/Centros	3 (Mabote, Caia, Beira)	3 Engenheiros do campo da GAA 3 Engenheiros agrónomos do campo	Direcções Provinciais do MINAG Directores do Campo do INGC
Nível de Campo		6 Extensionistas adicionais	9 Extensionistas do MINAG ou Agentes de campo do INGC 45 Chefes das EMCs

Além da equipa do projecto acima mencionado, ao projecto será providenciado um orçamento para contratar a assistência de uma empresa internacional ou ONG especializada em técnicas de GAA. Tal empresa prestará apoio, em particular, para as novas técnicas que ainda não estão bem estabelecidas em Moçambique, incluindo a construção de poços tubulares de baixo custo.

Formação do pessoal. Os especialistas nacionais irão ministrar um curso de formação de uma semana a todos os novos engenheiros do campo. Eles serão auxiliados pelos institutos nacionais de pesquisa e pela empresa internacional ou ONG, dando apoio especializado em GAA. Os engenheiros do campo serão recrutados com o objectivo de lhes proporcionar experiência no desenho de instalações de GAA, e em práticas de gestão agrícola. No entanto, na prática, embora cada engenheiro do campo venha a ter pontos fortes, será importante que todos os engenheiros do campo tenham uma forte compreensão de GAA e dos sistemas agrícolas, até porque muitas vezes há uma rotatividade bastante alta de funcionários e engenheiros do campo. Muitas vezes, terá de abranger indivíduos com o conhecimento suficiente para saber o momento certo de recrutar peritos adicionais a partir do nível nacional.

Os engenheiros do campo irão garantir que todos os extensionistas (incluindo tanto o novo pessoal recrutado pelo projecto, como os trabalhadores de campo do MINAG e do INGC já existentes) também tenham uma formação de pelo menos uma semana em GAA e gestão agrícola. Esta formação terá lugar na região e terá a forma de uma sessão de formação em grupo, no início do projecto, quando um número significativo de activistas de campo tiver sido recrutado. Onde os activistas de campo forem recrutados como suplentes, os engenheiros do campo serão responsáveis por avaliar as lacunas em suas experiências e por dar um programa de formação à medida deles, o que pode incluir ser acompanhado por engenheiros do campo durante as primeiras semanas de trabalho e ser afectado para trabalhar com outros activistas de campo por um mês.

Formação de agricultores e escolas na machamba do camponês. A formação e a extensão serão organizadas através de uma abordagem participativa que enfatiza a importância da discussão entre os agricultores. Esta abordagem agora está bem estabelecida em Moçambique através do uso generalizado das Escolas na machamba do camponês (EMCs). A abordagem reconhece que a maioria dos problemas agrícolas requer uma combinação de perícia externa e de soluções locais. Isto é particularmente apropriado para a captação da água e para a agricultura de conservação. É igualmente relevante para a micro irrigação, onde a gestão de novos equipamentos pode requerer uma instrução externa, mas a adaptação dos sistemas agrícolas locais para as novas oportunidades oferecidas exige uma adaptação local.

Ao apresentar o projecto em uma nova área, o primeiro contacto será através de uma ECA. Se não houver uma EMC na área, então os agricultores serão incentivados a formar um grupo de cerca de 25 agricultores. Estes grupos terão o potencial de se tornar EMC mais formal. As actividades do projecto irão contribuir para o fortalecimento desses grupos, sobretudo quando estes desejarem estabelecer-se como EMCs formais. No entanto, o PAGAA não dará apoio significativo às actividades da EMC fora de micro GAA, pois isso diluiria o impacto do projecto.

Quadro 4.5: Experiências anteriores com Escolas na machamba do camponês em Moçambique

As Escolas na machamba do camponês foram desenvolvidas pela primeira vez no princípio da década de 90 no Sudeste Asiático, sob o programa da FAO de Gestão Integrada de Pragas (IPM). As primeiras EMCs africanas também estavam envolvidas na gestão integrada de pragas, primeiro no Gana, em 1995, e depois no Mali e em outros países do Leste e do Sul da África. O escopo original foi então ampliado, e as EMCs envolveram-se na Gestão Integrada de Produção de Culturas (CIPM), onde os agricultores discutiram as práticas culturais tradicionais de produção, apresentaram e testaram melhores práticas. As EMCs especializadas se concentram em aspectos específicos, como a conservação de solos e água, comercialização e GAA para os grupos de usuários de água. O objectivo das EMCs é envolver mais os agricultores em extensão e pesquisa, utilizando técnicas participativas que incentivem análise, experiência e tomada de decisão participativas. As avaliações das experiências internacionais tendem a ser positivas em termos de uma maior eficiência e eficácia, em comparação com o sistema T&V. No entanto, algumas perguntas têm sido feitas sobre a rentabilidade das EMCs, dado o apoio intensivo às sessões semanais e à formação de formadores. Tem havido também certa preocupação em relação à protecção das EMCs e os riscos de elas poderem ser dominadas pelos agricultores mais instruídos e dinâmicos.

As Escolas na machamba do camponês foram introduzidas em Moçambique em 2003, nos distritos de Namacurra e Nicoadala, na Província da Zambézia, onde foram criadas 124 EMCs envolvendo 400 agricultores. Em 2004, também foram criadas EMCs em Maputo, Manica e Sofala. Um estudo recente sobre a eficácia das EMCs foi realizado no distrito de Boane, na Província de Maputo, abrangendo 8 das 38 EMCs do distrito, e 5 agentes de extensão. A revisão concluiu que a introdução das EMCs foi bem gerida e apreciada pelos agricultores, com uma boa participação e um intercâmbio de informações bem-sucedido. Os agricultores estavam, de uma maneira geral, no controlo das actividades das EMCs, e mais da metade dos agricultores se serviram das EMCs para tentar resolver os seus problemas. No entanto, apenas 5% experimentou as novas práticas discutidas nas EMCs. As EMCs também incentivaram algumas melhorias em acções cooperativas.

Fonte: (Dzeco, Amilai et al. 2010)

As discussões na EMC começarão com um diagnóstico participativo das condições existentes, a selecção das técnicas de GAA a serem introduzidas de acordo com as prioridades dos agricultores, a selecção de locais adequados e os procedimentos para a introdução das tecnologias. Será alcançado um acordo sobre os insumos a serem fornecidos pelos agricultores e pelo projecto, e os procedimentos para a instalação do equipamento e práticas culturais de produção de culturas. Será criado um calendário para as várias sessões das EMCs ao longo da campanha agrícola, para monitorar a operação de toda a campanha agrícola e a manutenção das técnicas de GAA, assim como as diversas práticas culturais de produção de culturas.

A abordagem da EMC envolve um apoio constante e regular aos agricultores, com até 10 sessões por campanha e se estende por várias campanhas agrícolas. As sessões da EMC serão preparadas e animadas pelos extensionistas sob a supervisão técnica dos engenheiros de campo. Quando os engenheiros de campo visitarem as EMCs (por exemplo, para fornecer informações adicionais sobre o desenho de GAA) a sua presença será explorada através da

organização de uma sessão de EMC para discutir uma questão que é corrente na localidade. Os assuntos abordados incluirão:

- a instalação do equipamento e o fornecimento de insumos, conforme acordado com os agricultores
- a operação e manutenção dos equipamentos de GAA
- agenda de irrigação
- os padrões e rotações de culturas, com particular ênfase para a introdução e possíveis benefícios de uma cultura de leguminosas com a agricultura de conservação
- opções para preparar o canteiro
- o uso de sementes melhoradas e insumos adicionais necessários para explorar o seu potencial
- o uso de herbicidas e pesticidas
- implicações de mudanças nas práticas de comercialização e de armazenamento
- gestão de negócios, incluindo o apoio técnico para a comercialização e assistência na preparação de pedidos de empréstimos de instituições financeiras rurais

Ênfase especial será dada à agricultura de conservação, tendo em conta todas as implicações, incluindo o plantio directo, o controlo de vegetais naturais como fertilizantes, das ervas daninhas e das pragas.

Seminários nacionais. O PAGAA irá organizar anualmente um seminário nacional para os diversos actores do projecto, incluindo o pessoal-chave da SPAWM, do MINAG e do INGC. Alguma forma de representação de agricultores, fornecedores e empreiteiros será incentivada. No primeiro seminário, será apresentado o programa e uma orientação sobre a melhor forma de implementá-lo. Nos anos seguintes, os resultados serão apresentados, e os constrangimentos discutidos.

Seminários regionais. O PAGAA irá organizar seminários de um dia duas vezes por ano, em cada centro. Estes serão frequentados pelo pessoal técnico do projecto, funcionários do governo local e por funcionários do MINAG e do INGC. Será incentivada alguma forma de representação de agricultores, fornecedores e empreiteiros. Os seminários serão organizados para apresentar os programas sazonais da SPAWM para as estações chuvosa e seca, e avaliar os resultados e as limitações da campanha anterior.

Construtoras de poços tubulares de baixo custo. Será providenciada uma capacitação às 9 construtoras na utilização eficiente e segura de equipamento. As construtoras também terão formação adicional sobre as práticas de GAA, para que possam prestar assessoria informal durante a construção de poços.

Fornecedores de equipamentos e insumos e instituições financeiras rurais. Há uma série de empresas privadas envolvidas no fornecimento de equipamentos de GAA e insumos agrícolas e no crédito rural. A SPAWM irá garantir o seu envolvimento no fornecimento de equipamentos e na prestação de serviços adequados de manutenção e reparação. Serão providenciadas sessões de formação e informação para esses fornecedores e banqueiros, nas quais serão formados em técnicas de GAA, para que possam passar este conhecimento aos seus clientes e possam avaliar com mais precisão a viabilidade dos investimentos propostos.

4.6 ESCALA, GESTÃO, MONITORIA E AVALIAÇÃO

Introdução. Tradicionalmente, o apoio à GAA tem sido dado através de uma abordagem de projecto, concentrando-se numa área limitada e dando apoio integrado através de um vasto leque de actividades, incluindo apoio técnico e financeiro. Esta abordagem era típica dos projectos integrados de desenvolvimento agrícola (PIDAs) nos anos setenta e oitenta e continuou-se com esta abordagem em esquemas de irrigação focalizados inevitavelmente em determinada área específica. Tem a vantagem de oferecer um apoio abrangente de que os agricultores necessitam e, dessa forma, assegurar que este apoio não seja desperdiçado por falta de determinado tipo essencial de apoio. Teoricamente, o apoio concentrado em determinada área deve produzir efeitos visíveis que possam se estender a outras áreas. Porém, os PIDAs apresentaram altos custos e os benefícios verificaram-se tipicamente em um número pequeno de pessoas.

As preocupações com a sustentabilidade dos PIDAs levaram a tentativas de apoiar a GAA, e a agricultura de uma maneira geral, em escala nacional através de abordagens programáticas. Tem havido dois tipos principais de

- Programas de investimento do governo, algumas vezes organizados a nível sectorial e noutras, a nível local, são frequentemente usados para impulsionar o investimento durante um período de vários anos.
- O apoio ao orçamento sectorial da parte dos doadores (por exemplo, PRAGRI) procura alargar os benefícios do apoio dos doadores, mas concentra-se na capacitação à custa do investimento e há preocupações de que os programas não tragam necessariamente grandes benefícios no terreno.

Porém, os programas nacionais têm sido problemáticos e há poucos exemplos de programas de GAA bem-sucedidos. Um desafio especial é a integração do apoio para a aquisição de equipamento com o apoio técnico, o qual parece difícil de alcançar em escala nacional.

Experimentaram-se novas abordagens em alguns países, que se ocupam do apoio ao sector privado (por exemplo, no uso de agentes do PROAGRI). O apoio através do sector privado apresenta potenciais vantagens em termos de sustentabilidade e em alavancar investimentos privados adicionais. No entanto, tem havido problemas em garantir que o apoio dado através do sector privado traga benefícios à população mais ampla (por exemplo, os agricultores) e as parcerias público-privadas (PPPs) ainda não têm um histórico comprovado em África.

Muitos doadores têm dado mais apoio através de ONGs, reconhecendo as habilidades e a dedicação que estas podem possuir bem como a sua sensibilidade para com as condições locais. No entanto, há agora, preocupações de que algumas ONGs comecem a operar mais como empresas privadas e há riscos de que elas possam perder o seu compromisso com as bases se forem recrutadas para projectos de grande envergadura.

Tendo em mente os desafios enfrentados em todas as abordagens acima, alguns governos e doadores tentaram dar apoio directamente aos agricultores ou a associações de agricultores. Esta abordagem tende a apresentar custos administrativos relativamente baixos e pode proporcionar aos agricultores mais flexibilidade sobre como usar o apoio dado. O uso de vales foi feito com algum de sucesso em vários países africanos. Os esquemas de vales são vulneráveis à manipulação, à medida que as pessoas exploram oportunidades de renda e à medida que emergem mercados secundários para vales. Mas há exemplos de esquemas de vales que

duraram por muitos anos sem manipulação excessiva (por exemplo, em Malawi). Também podem surgir problemas em prover o apoio técnico adequado para complementar os esquemas de vales.

Contudo, os crescentes números de pequenos agricultores dinâmicos – emergentes – e de fornecedores de insumos agrícolas e as ligações de famílias de zonas rurais e de zonas urbanas indicam que pode haver oportunidades para uma abordagem equilibrada entre uma abordagem de projecto convencional e uma abordagem simplista de fazer o *dumping* de equipamento.

Com vista a avaliar o equilíbrio apropriado, o estudo revisou a experiência de Moçambique (IFAD 2007; UN Water 2009; IFAD 2010) e de outros lugares na África (Penning De Vries, Sally et al. 2005; IWMI 2006; IMAWESA 2007; IWMI 2007; IWMI 2009; McCartney and Smakhtin 2010; McCartney 2011).

4.6.1 Escala

Há duas coisas importantes a considerar na determinação da escala de SPAWM,

- Primeiro, o projecto visa demonstrar o potencial valor de GAA a nível nacional e deve, portanto, operar nas três amplas zonas agro-económicas (i.e. planaltos, zonas baixas nos vales e terras húmidas).
- Segundo, as competências exigidas para apoiar as actividades de campo incluem pelo menos dois campos centrais (técnicas e sistemas de cultivo de GAA) mais um terceiro campo (economia e monitoria de campos agrícolas) que envolve um contacto menos directo com os agricultores mas importante para o sucesso do projecto. É raro achar um único perito nacional que possa trabalhar efectivamente em vários destes campos, especialmente se for para abranger a gama completa de técnicas de GAA, incluindo a captação de água e a agricultura de conservação.

A proposta do projecto completo apresentada neste relatório envolve o trabalho em três diferentes centros (um por cada zona agro-ecológica) e apoio abarcando três principais campos de competências. Para alcançar esse objectivo, o projecto provê apoio técnico a três níveis: sede, centro e aldeia. A nível da sede, o apoio técnico de alto nível cobre todos os três campos de competências (i.e. GAA, sistemas de cultivo e economia agrícola). Em cada centro, dá-se apoio técnico médio em técnicas de GAA e sistemas de cultivo. Ao nível da aldeia, o projecto é implementado por agentes de campo que têm formação básica em todos os três campos.

A estrutura administrativa descrita neste relatório relaciona-se, principalmente, com a proposta do projecto completo. Duas versões menores do projecto também são fixadas em 6: uma versão de tamanho médio do projecto levado a cabo num único centro com dois peritos e 5 extensionistas rurais; e uma versão pequena que conta com um único perito e gestor apoiando 3 extensionistas. Estas versões menores podem ser consideradas alternativas ou fases preparatórias para o projecto completo.

4.6.2 Estrutura de Gestão

O projecto será supervisionado por um Comité Directivo que se reúne anualmente para aprovar o programa de trabalho anual e para qualquer grande decisão estratégica requerida. O Comité Directivo delegará a supervisão rotineira ao INGC que aprovará relatórios mensais de progresso

e de despesas. As actividades diárias serão administradas pela Equipa Nacional do PAGAA que será recrutada e empregada pelo INGC. A empresa consultora colaborará com empresas especialistas e/ou ONGs, conforme a exigência, e fará o recrutamento e a gestão do pessoal do projecto. O pessoal do projecto será afectado a nível nacional e nos três centros, em Mabote, Caia e Beira. As actividades de campo serão empreendidas principalmente pelos extensionistas do MINAG e pelo pessoal do campo do INGC, com apoio financeiro do projecto. A estrutura administrativa é resumida na *Figura 4.16*.

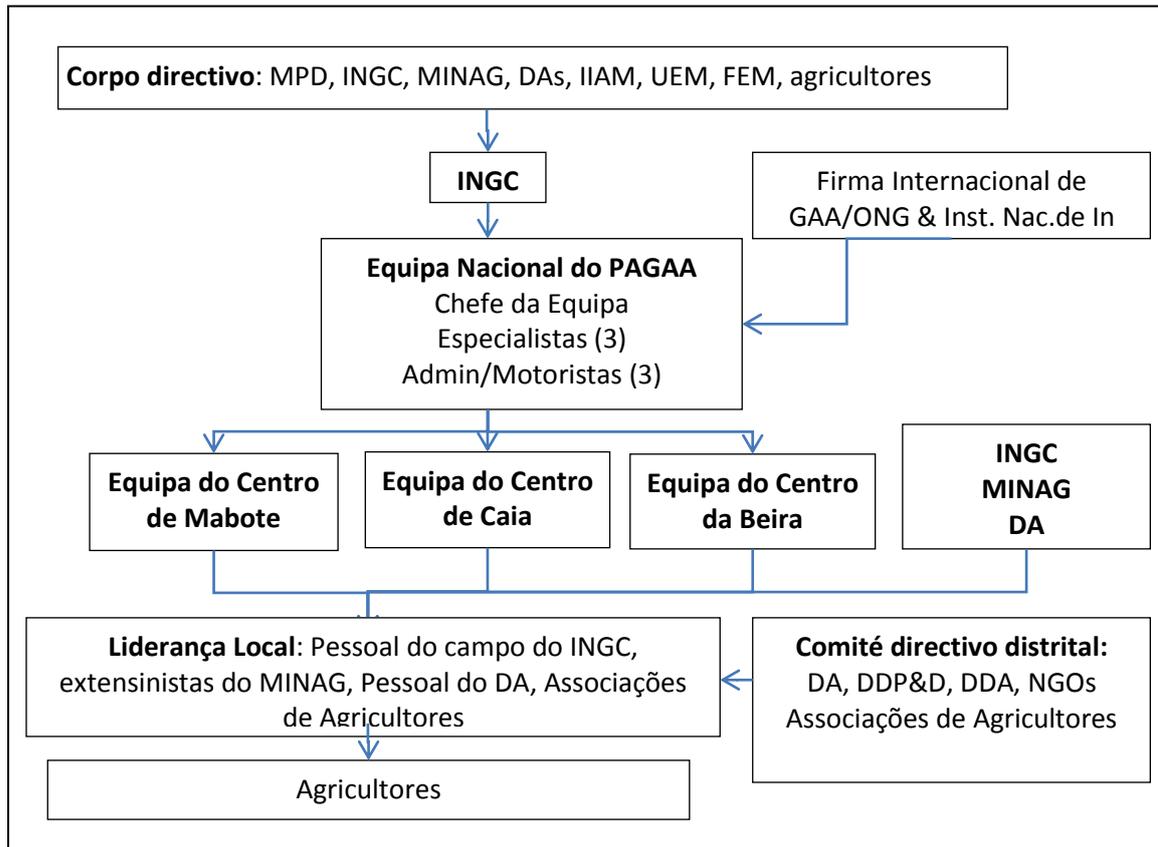


Figura 4-16: Estrutura e Gestão do PAGAA

Supervisão. A supervisão geral e a liderança estarão a cargo do Corpo Directivo do PAGAA (CDS) que incluirá os representantes das seguintes instituições:

- INGC
- MINAG
- As Administrações dos Distritos de Mabote, Caia e Beira
- Fundação Empresarial de Moçambique (FEM)
- Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Engenharia Rural
- IAMM
- MPD
- Um representante de agricultores escolhido em cada uma das três regiões

O CDS reunir-se-á uma vez por ano para aprovar o próximo Programa de Trabalho Anual e também será por vezes convocado, se houver necessidade de orientação estratégica. A supervisão rotineira será delegada ao INGC que será responsável pelo recrutamento e gestão da

equipa do projecto e terá certa autoridade para fazer mudanças secundárias no programa de trabalho (veja secção 4.6.4).

Gestão. O PAGAA necessita de uma forte equipa de peritos que terá a função de colocar o projecto em andamento, coordenar as actividades e monitorar e ajustar as actividades. Esta equipa deve desempenhar os seguintes papéis:

- garantir o cumprimento das metas e dos objectivos do projecto
- fazer relatórios ao Corpo Directivo
- especificar as instalações de GAA, onde estas requeiram um desenho mais complexo
- adaptar os materiais de formação previstos no Anexo 4 e formar o pessoal de campo do projecto
- fazer negociações com o sector privado para o fornecimento de equipamento e insumos de GAA e estabelecer contactos para a comercialização de produtos
- analisar a informação de monitoria e recomendar mudanças nas actividades sugeridas pela monitoria
- gerir a conta do projecto

O PAGAA também precisa de capacidade ao nível dos três centros para apoiar os oficiais de campo no seu trabalho junto aos agricultores. Esta capacidade a nível do campo deverá trabalhar com os serviços existentes no campo, mas envolverá recursos humanos com capacidade de campo acima da existente. A capacidade de campo precisa desempenhar o seguinte papel:

- garantir que todos os agentes do INGC e do MINAG sejam completamente formados nas técnicas de GAA
- garantir que todos os agentes tenham acesso completo ao material de formação provido aos agricultores

A provisão de pessoal do Projecto é resumida na *Tabela 4-15*.

Tabela 4-15: Provisão de Pessoal do Projecto

Nível de PMU	Perito	Experiência
Nível Nacional	Chefe da Equipa	20 Anos
	Especialista em matéria seguinte 1: Engenheiro Agrícola	10 Anos
	Especialista em matéria seguinte 2: Agrónomo	10 Anos
	Especialista em matéria seguinte 3: Negócios e M&A	5 Anos
	Assistente Administrativo	
	Motoristas (2)	
Centros	Engenheiros 1: Engenheiro Agrícola	5 Anos
	Engenheiros 2: Agrónomo	5 Anos
Nível do Campo	Extensionistas, dos quais 9 são os actuais trabalhadores de campo do MINAG e do INGC e 6 são novos extensionistas recrutados pelo Projecto.	2 Anos

O Chefe da Equipa cuidará da gestão geral do projecto e será responsável pela implementação do programa de trabalho especificado no Programa Trabalho Anual e nos Relatórios mensais.

Todo o outro pessoal do projecto responderá perante Chefe da Equipa e este responderá perante o INGC.

Os dois especialistas na matéria darão apoio técnico aos técnicos de campo nos centros, assistindo-lhes no desenho de instalações conforme a necessidade garantindo que todos os técnicos de campo tenham formação actualizada. Os especialistas na matéria e os técnicos de campo em cada centro cobrirão duas principais áreas de conhecimento: o técnico agrícola será perito na gestão de água, incluindo irrigação e o agrónomo aconselhará sobre como ajustar as práticas da gestão de culturas a fim de fazer o melhor uso da aumentada disponibilidade de água para a agricultura.

O Perito em Negócios e M&A desempenhará duas funções. Primeiro, ele ajudará os agricultores com a planificação do negócio e o financiamento das suas instalações e com pedidos de empréstimos, em caso de necessidade. Segundo, ele será responsável pela produção de Relatórios mensais e trabalhará de perto com o Chefe da Equipa e outros elementos da equipa na produção dos Programas de Trabalho Anuais e os Relatórios Anuais de Avaliação.

Comité directivo distrital. As actividades locais serão apoiadas por um Comité Directivo Distrital (CDD) que se reunirá quatro vezes por ano. O CDD aprovará o programa de trabalho para o distrito. Qualquer modificação do plano de trabalho durante o ano também precisará de ser aprovada pelo CDD. O CDD será presidido pelo Administrador do Distrito ou pelo Director Distrital de Planificação e Desenvolvimento e os membros incluirão: a DD de Agricultura; qualquer representante local do INGC; ONGs pertinentes; e os representantes de associações de agricultores e comerciantes privados envolvidos no fornecimento ou comercialização de insumos. O CDD não aprovará actividades diárias do projecto, tais como a selecção de beneficiários ou decisões sobre que técnicas de GAA apoiar.

Actividades de campo. Grande parte do trabalho com os agricultores será realizada pelo pessoal de extensão existente no MINAG e pelos agentes de campo no INGC, trabalhando em colaboração com a Administração do Distrito. Não serão solicitados salários para estes extensionistas, mas pagar-se-ão as despesas operacionais visto que os seus orçamentos actuais não são suficientes para lhes permitir viajar ao encontro dos agricultores. Estas despesas devem incluir uma motorizada. Caso o pessoal de campo do MINAG ou do INGC não esteja disponível, o projecto recrutará outro pessoal e pagará os seus salários. O orçamento inclui salários para 5 dos 15 funcionários de campo em cada centro. O motivo para não se proverem salários para todo o pessoal não é economizar os custos, mas tentar assegurar o melhor envolvimento possível de todo o pessoal de campo do INGC e do MINAG existente e, dessa forma, promover a sustentabilidade do projecto.

Será fundamental que haja boa cooperação entre o INGC e o MINAG ao nível de campo. Na maioria dos lugares, esta cooperação ocorre naturalmente sob coordenação geral dos Centros de Serviços Económicos da Administração do Distrito. Nas localidades onde o pessoal tanto do INGC como do MINAG estão activos, o centro procurará envolver todo o pessoal, encorajar a expansão de experiência entre o maior número de funcionários de campo possível. Porém, é provável que seja necessário que cada aldeia tenha apenas um contacto principal.

Sector privado. O projecto contará com o sector privado de duas formas principais:

- o equipamento e os insumos de GAA serão adquiridos de fornecedores do sector privado
- a comercialização das culturas será feita exclusivamente pelo sector privado
- a ajuda aos agricultores que pedem empréstimo para investimentos relacionados com GAA

Os fornecedores de equipamento e insumos de GAA (incluindo combustível e peças sobressalentes) actuam nas principais cidades de Moçambique, incluindo Beira. Eles não têm representação permanente nas áreas rurais de Mabote e Caia, exceptuando o fornecimento de insumos agrícolas básicos, mas estão interessados em ir até a essas zonas para venderem equipamento e insumos. Se possível, os beneficiários do projecto devem comprar o equipamento e os insumos de GAA directamente de fornecedores privados. Porém, até mesmo quando os fornecedores privados se encontram perto, a maioria dos beneficiários do projecto não está em condições de comprar o equipamento de GAA ou insumos directamente dos fornecedores privados, porque eles não têm suficientes recursos financeiros. Assim, na maioria dos casos, o projecto comprará o equipamento e os insumos de GAA de fornecedores privados e colocá-los à disposição dos agricultores beneficiários, devendo os agricultores concordar em dar a sua contribuição para cobertura dos custos.

Este arranjo aplicar-se-á no primeiro ano, quando a adopção for subsidiada. No segundo ano, quando não haverá nenhum subsídio adicional, os agricultores terão que fazer os seus próprios acordos com fornecedores privados para o fornecimento de insumos do GAA. O projecto trabalhará para encorajar e facilitar a expansão de actividades dos fornecedores privados, especialmente nas áreas mais remotas de Mabote e Caia. Isto poderá incluir o patrocínio de feiras ocasionais ou outros eventos em que se encorajam os fornecedores a vender os seus produtos e a estabelecer contactos com os agricultores.

O projecto encorajará os fornecedores privados a darem apoio técnico aos agricultores, onde for possível. Ao passo que este apoio será uma parte importante da perspectiva das técnicas de GAA a longo prazo, não se espera que os serviços consultivos do sector privado venham a assumir o papel de assessoria pública e extensão a médio prazo, especialmente para os agricultores mais vulneráveis que são os beneficiários alvo do PAGAA.

O projecto não se ocupará com a importação de equipamento e insumos de GAA, com a excepção dos casos em que haja algum trabalho de ensaio de novas tecnologias que requeiram equipamento que não esteja disponível localmente.

Os benefícios do projecto dependem do sucesso na comercialização das culturas. A comercialização será feita exclusivamente pelo sector privado. Porém, o projecto fornecerá alguns incentivos especificamente desenhados para encorajar os comerciantes da Beira a visitar as áreas do projecto e a estabelecer contactos com os beneficiários deste. Estes serão limitados a um número pré-definido de visitas iniciais e poderão incluir, por exemplo, o subsídio do custo de aluguer de um veículo para o transporte de novos produtos para Beira, por um período limitado. Conversas com comerciantes na Beira sugerem que há forte interesse em novas fontes de fornecimento e que os comerciantes estão dispostos a organizar transporte e sistemas para a compra adiantada de culturas, uma vez que se tiver estabelecido um grau de confiança com os agricultores.

O projecto não se ocupará com a prestação de serviços financeiros rurais, com a excepção de casos em que aceitará que as contribuições dos agricultores possam atrasar até depois da colheita. Porém, o pessoal de extensão trabalhará com os agricultores para ajudá-los a ter acesso a qualquer serviço financeiro rural privado que exista. Em particular, eles ajudarão os agricultores interessados a preparar pedidos de empréstimo e fornecerá referências, caso seja apropriado.

4.6.3 Gestão Financeira

O projecto será financiado usando uma conta especial para projectos convencionais, administrada pelo INGC. Este receberá a verba dos doadores e quaisquer fundos do governo. O pessoal do projecto será gerido por uma empresa consultora, com instituições associadas, conforme exigido. Esta empresa receberá da conta especial um pagamento adiantado cobrindo dois meses de actividades do Programa de Trabalho Anual. Desembolsos adicionais serão feitos a cada mês dependendo dos breves relatórios mensais de progresso que demonstrem que as actividades do mês anterior foram completadas com sucesso. Os breves relatórios mensais de progresso devem comparar as actividades e as despesas reais com as definidas no Programa Trabalho Anual, para que qualquer grande diferença possa ser encontrada o mais cedo possível e se possam tomar medidas para resolver qualquer problema que esteja a emergir.

Também serão incluídos pagamentos da conta especial para o fornecimento de equipamento nos desembolsos mensais aprovados pelo INGC, com a possibilidade de desembolsos em outros momentos. Estes pagamentos mensais podem ser feitos à instituição responsável pela implementação de cada instalação individual que poderá incluir qualquer uma das seguintes entidades:

- a empresa consultora
- fornecedores privados de equipamento
- associações de agricultores onde estes forem considerados suficientemente bem desenvolvidos
- a administração distrital local, MINAG ou escritório de campo do INGC

Em todos os casos, os desembolsos deverão ser aprovados pela empresa consultora e o pessoal de campo ou o MINAG, ou o INGC. A aprovação será em forma de rubrica num formulário padrão da instalação.

As contribuições dos agricultores para o custo do equipamento serão feitas directamente aos fornecedores. Caso os agricultores peçam que as contribuições não sejam cobradas até a colheita, estas de preferência devem ser pagas pelos agricultores directamente aos fornecedores. Se necessário, O PAGAA disponibilizar-se-á a garantir o pagamento destas contribuições. Pode se esperar que o preço cobrado pelos fornecedores inclua uma taxa em casos de pagamentos atrasados.

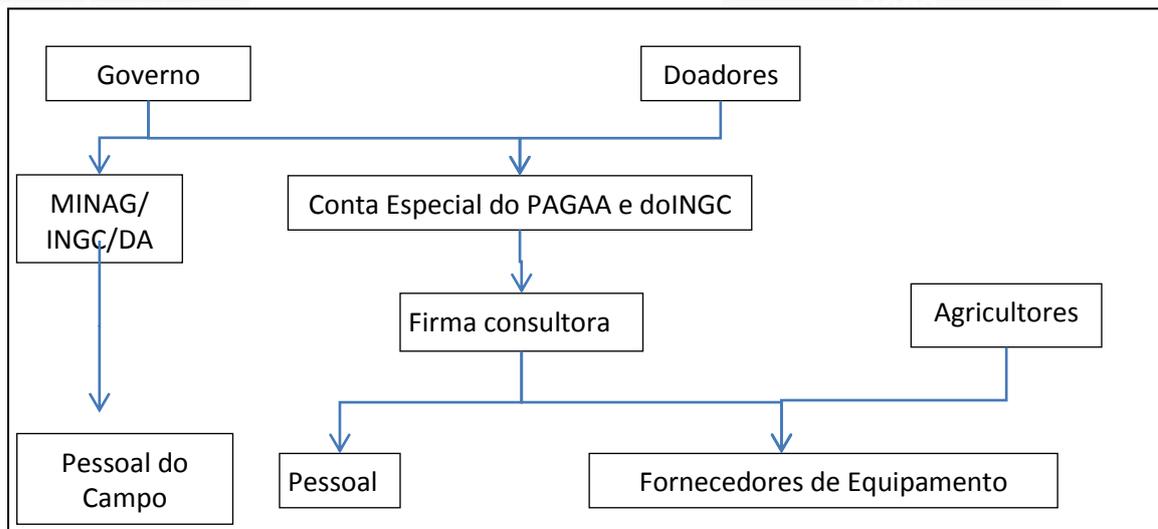


Figura 4-17: Fluxo Financeiro

O projecto será registado no orçamento do governo para facilitar a integração na planificação do governo e possível réplica. Porém, os procedimentos financeiros não serão integrados nos sistemas da Tesouraria, com a excepção das contribuições do governo.

O projecto estará sujeito a auditoria anual, empreendida por uma empresa de contabilidade independente. Um orçamento de \$5000 por ano é incluído nos custos para este fim.

4.6.4 Relatórios e Adaptação do Programa

Programa de trabalho anual. A Coordenação do PAGAA produzirá Programas de Trabalho Anuais (PTAs)¹⁰ em colaboração com o INGC. Os PTAs incluirão uma estimativa do número de EMCs, as instalações e os agricultores que serão apoiados em cada centro junto com um orçamento mensal que apresente as despesas esperadas. A aprovação do PTA é a função principal do Corpo Directivo que se deve esperar que examine o equilíbrio e o realismo das propostas do PTA.

Relatório de avaliação anual. Os PTAs do segundo e do terceiro ano serão acompanhados por um Relatório de Avaliação Anual (RAA). Visto que o RAA terá de estar preparado aproximadamente três meses antes das necessidades do PTA serem aprovadas, só se baseará nos primeiros 9 meses do ano, mais o progresso verificado em qualquer ano anterior. O RAA cobrirá os seguintes elementos:

- As actividades empreendidas, incluindo as despesas efectuadas e os resultados obtidos. Serão apresentados os dados sobre o número de beneficiários e a área que se beneficia de cada técnica de GAA. Além disso, o RAA fará relatórios sobre as actividades de formação empreendidas. As realizações reais serão comparadas com os objectivos no PTA e quaisquer diferenças constatadas serão explicadas.
- Os recursos hídricos e os meios de subsistência em cada uma das 45 novas EMCs apoiadas e um resumo das discussões realizadas nas EMCs sobre a adequação de técnicas de GAA em cada aldeia. Estas informações serão resumidas em mapas apropriados, tendo como base a metodologia desenvolvida pelo Projecto de Soluções

¹⁰ A sigla do relatório em inglês é YWP (de "Yearly Work Programme", e não AWP (de "Annual Work Programme") para evitar confusão entre os acrónimos AWP e AWM.

de Água Agrícola da FAO (AWSP) (FAO 2011). Esta metodologia será estendida de modo a levar em conta as novas questões descobertas durante o projecto. Os mapas de adequação proverão a estrutura exigida para desenhar abordagens rigorosas para a avaliação da adequação no projecto.

- As informações acima serão usadas para a análise da rentabilidade e do impacto esperado das técnicas de GAA sobre as rendas melhoradas e adaptação climática. Não será possível apresentar um relatório exaustivo sobre a evidência quantitativa e definitiva da produção, vendas e preços, visto que leva vários anos para vir a usufruir e requereria pesquisas onerosas. Porém, o RAA fará relatórios sobre toda a evidência disponível, incluindo os relatórios do pessoal do projecto sobre o impacto da produção estimada. Trabalho de pesquisa adicional será feito para os PTAs incluindo a consulta aos agricultores participantes e não-participantes para juntar seus pontos de vista sobre o provável futuro impacto do projecto. Esta análise comparará os benefícios reais e os esperados com os custos das técnicas de GAA para toda instalação apoiada pelo projecto em cada localidade.
- Cada RAA concluirá comparando os custos e os benefícios reais com os definidos neste Relatório de Avaliação e explicando as diferenças e as implicações destas em futuras actividades do projecto.

Relatórios mensais. O projecto também produzirá relatórios mensais (RMs) sobre as actividades que servirão de base para o desembolso contra o orçamento mensal no PTA. Estes apresentarão informações sobre as actividades do último mês e um plano de actividades durante o mês seguinte. Os RMs descreverão o número de EMCs, as instalações e os agricultores envolvidos nas actividades do mês anterior e as despesas envolvidas, tanto do projecto como dos agricultores. Caso as actividades e/ou despesas reais sejam significativamente diferentes do plano do mês anterior, apresentar-se-ão explicações.

Contribuição independente. Um contrato modesto será emitido a um órgão independente para fornecer contribuição independente para MPRs e PTAs. Esta tarefa visa, por um lado, garantir uma verificação independente da informação de monitoria e por outro, dar esclarecimento adicional e sugestões à gestão do projecto. O contrato incluirá verificação in loco da informação fornecida nos MPRs bem como uma revisão de cada PTA.

Contabilidade e auditoria. O projecto apresentará contas anuais que serão examinadas por auditores independentes.

4.6.5 Integração com o Sistema de Apoio à Autoridade da Água

As outras subcomponentes do estudo da Segunda de Fase do INGC contribuem para um Sistema de Apoio à Autoridade que ajudará na gestão de recursos hídricos do país. A Secção 4.8.3 apresenta o impacto do projecto sobre o equilíbrio da água e mostra que é improvável que GAA em miniatura desempenhe um papel significativo nos sistemas de tomada de decisões sobre os recursos hídricos nacionais. Porém, é possível que haja algum impacto localizado sobre rios menores e sensíveis e que o projecto tenha de monitorar o assunto a nível local para evitar criar alguma tensão local.

4.7 CUSTOS DO PROJECTO

4.7.1 Custos de Todo o Projecto

Os custos do projecto incluem os custos directos do trabalho com os agricultores (incluindo a formação e fornecimento de equipamentos e insumos agrícolas para as técnicas de GAA e os custos complementares de apoio na gestão e extensão. A experiência em outros projectos sugere que o simples fornecimento de equipamentos e insumos agrícolas, sem a formação e extensão é ineficaz, e a experiência internacional oferece uma série de modelos para garantir que seja disponibilizado suficiente apoio central para os agentes de extensão de campo para garantir que a formação do agricultor e a extensão sejam eficazes.

Os custos totais são de 2.49 milhões de dólares americanos e são apresentados na *Tabela 4-16*. A extensão e gestão representam 1.22 milhões de dólares americanos, a formação 0.65 milhões de dólares americanos, equipamentos e insumos agrícolas 0.76 milhões. A contribuição do agricultor para os custos de equipamentos e insumos agrícolas vão reduzir os custos do projecto por 0.15 milhões de dólares americanos.

Tabela 4-16: Resumo custos

Resumo	Custos (\$)			
	1º Ano	2º Ano	3º Ano	Total
Extensão e Gestão	513,300	360,800	350,800	1,224,900
Formação	163,630	234,170	234,170	651,970
Subsídios e incentivos	253,434	253,434	253,434	760,303
menos contribuição dos agricultores para os custos	0	75,540	75,540	151,080
Total	950,364	772,864	762,864	2,486,093

Custos de Extensão e Gestão. O projecto vai ser gerido por um Chefe de Equipa e vai contar com o apoio de três especialistas nacionais, cujo trabalho estará virado para o seguinte:

- I. Gestão de água para a agricultura, incluindo o desenho de sistemas de micro-irrigação e captação de água);
- II. sistemas agrícolas e agricultura de conservação, incluindo as técnicas necessárias para
- III. ajustar as práticas de cultivo para aproveitar as oportunidades decorrentes da melhoria do acesso à água;
- IV. gestão de machambas, incluindo aconselhamento em negócios para os agricultores e monitoria e avaliação do projecto.

Esta equipe nacional vai contar com o apoio de uma organização internacional especializada devidamente contratada para o efeito (sendo uma empresa de consultoria, uma ONG ou Instituto de investigação), que vai servir de apoio de retaguarda adicional em micro-irrigação, captação de água e a agricultura de conservação. O contrato vai incluir três visitas à Moçambique no primeiro ano, duas no segundo e uma no terceiro ano.

O projecto também vai financiar os salários de 6 Engenheiros de Campo, sendo dois em cada pólo, que vão prestar o apoio necessário à GAA e aos sistemas de cultivo. O contacto rotineiro

com EMCs e os agricultores vai ser realizado pelo pessoal de extensão, incluindo os funcionários do MINAG e do INGC, juntamente com os recrutados pelo projecto.

O projecto vai financiar os salários e despesas do chefe de equipa, 2 peritos nacionais e 6 engenheiros de campo, além de um assistente administrativo e dois motoristas. Onde o MINAG e INGC tiverem agentes de campo e extensionistas, os seus salários não serão cobertos pelo projecto. No entanto, o projecto vai ter um orçamento para dois extensionistas em cada pólo, para preencher as lacunas onde o MINAG e o INGC não estiverem representados. O projecto vai disponibilizar ajudas de custo e despesas de viagem, incluindo motocicletas, para todos os trabalhadores de campo, incluindo os trabalhadores do MINAG e do INGC. O projecto vai também cobrir os custos de contratação de ONGs. Também vai ser disponibilizada uma viatura 4WD na sede e em cada um dos pólos. Os agentes de extensão vão poder contar com motocicletas para a sua deslocação. Os custos totais são apresentados em

Tabela 4-17: Custos de Gestão e Extensão

		Unidades			Custos (\$)			Total
		1º Ano	2º Ano	3º Ano	1º Ano	2º Ano	3º Ano	
Pessoal	\$/mes							
Ajuda internacional	5000	6	4	2	30,000	20,000	10,000	60,000
Chefe de equipe		6	6	6	24,000	24,000	24,000	72,000
Peritos nacionais (3)	2500	36	36	36	90,000	90,000	90,000	270,000
Engenheiros de campo	1500	72	72	72	108,000	108,000	108,000	324,000
Extensionistas	4000	72	72	72	28,800	28,800	28,800	86,000
Assistente Administrativo	500	12	12	12	6,000	6,000	6,000	18,000
Motoristas	200	244	244	244	4,800	4,800	4,800	14,000
Auditoria					5,000	5,000	5,000	15,000
Total					296,600	286,600	276,600	859,000
Ajudas de custos diários	\$/noite							
Maputo	140	30	30	30	4,200	4,200	4,200	12,600
Peritos nacionais	140	75	75	75	10,000	10,000	10,000	31,500
Engenheiros de campo	65	100	100	100	6,500	6,500	6,500	19,500
Agentes de extensão	65	300	300	300	19,500	19,500	19,500	58,500
Motoristas	25	100	100	100	2,500	2,500	2,500	7,500
Total					43,200	43,200	43,200	129,600
Viaturas	O & M							
investimento								
Maputo-carro	4000	1	1	1	34,000	4,000	4,000	42,000
30,000								
Polo-4WD	7500	3	3	3	112,500	22,500	22,500	157,500
30,000								
Agentes de extensão motorizada	300	15	15	15	27,000	4,500	4,500	36,000
1,500								
Total					513,300	360,800	350,800	1,224,900

Custos de formação. Os principais custos de formação vão ser os relativos aos Centros de Formação Agrícola. O projecto vai trabalhar com 45 EMCs novos, anualmente. Durante o primeiro ano de contacto, os EMCs vão beneficiar de apoio devido em dois ciclos de 10 sessões, sendo uma para a estação chuvosa e outra para a estação seca. Cada sessão vai custar US \$150, incluindo as despesas de incentivos aos agricultores (\$50), material de formação (\$25) e despesas de campo, pessoal e submissão de relatórios (\$75). O custo por cada EMC vai ser de \$3000 no primeiro ano de contacto, e o apoio vai também ser disponibilizado no ano seguinte, mas a 40% do nível total. O apoio para cada EMC vai cessar depois de dois anos de actividades.

Os EMCs que vão iniciar as suas actividades no 3º ano não irão beneficiar de apoio no segundo ano, uma vez que o projecto e os agentes de extensão vão necessitar de ajustar o apoio no 3º ano com vista a considerar e incentivar os EMCs a ser mais auto-suficiente quanto possível no 3º ano. Isto pode ser alcançado através do estabelecimento de ligações com uma EMC vizinha e que esteja melhor estabelecida.

A formação para agentes de extensão vai ocorrer duas vezes por ano, com vista a se preparar a fase de formação do EMC e as actividades do projecto. Esta sessão vai reunir todos os agentes de extensão durante uma semana e vai contar com apresentações e exercícios para estimular a troca de experiência entre os agentes. Cada sessão vai ter um orçamento de US \$7050 por fase, incluindo os custos de materiais de formação (\$1800), despesas diárias (\$3600) e as despesas do local, pessoal e submissão de relatórios (\$1650).

Os engenheiros de campo vão também beneficiar de uma sessão de formação, por cada fase com um orçamento de \$3460, liderada por peritos nacionais. Na primeira fase, a sessão de formação vai durar 2 semanas e vai cobrir todas as opções técnicas e questões de gestão de projectos. Em épocas posteriores, as sessões vão durar uma semana e pelo menos um dia vai ser dedicado à partilha de experiências de trabalhos recentes, a ser liderado por um especialista em gestão de machambas que também vai ser responsável pela monitorização e avaliação.

Para além das actividades de formação acima mencionadas, vão ser organizados 2 seminários por cada fase, sendo um à nível nacional e um em cada pólo. Estes vão durar um dia e vão permitir o envolvimento de um grupo maior de pessoas no planificação estratégica e revisão, incluindo: outros funcionários do governo, associações de agricultores, ONGs, imprensa e projectos relacionados. Os seminários nacionais vai ter um orçamento de US \$2430 e os seminários de cada pólo vão ter um orçamento de US \$485.

Finalmente, vai ser reservado um orçamento de 2730 dólares americanos por fase para cada pólo com vista a apoiar e envolver o sector privado nas actividades de GAA, através de seminários ou através de contacto directo.

Tabela 4-18: Custos de Formação

Formação	Custo/evento	Unidades			Custos (\$)			
		1º Ano	2º Ano	3º Ano	1º Ano	2º Ano	3º Ano	Total
Engenheiros de campo	3,460 \$/época	3	2	2	10,380	6,920	6,920	24,220
Agentes extensionistas	7,050 \$/época	2	2	2	14,100	14,100	14,100	42,300
EFS	1,500 \$/época	90	126	126	135,000	189,000	189,000	513,000
Seminário nacional	2,430 \$/época	2	2	2	4,860	4,860	4,860	14,580
Seminário nos pólos	485 \$/época	6	6	6	2,010	2,910	2,910	8,730
Workshop do sector privado	2,730 \$/época	6	6	6	16,380	16,380	16,380	49,140
Total					183,630	234,170	234,170	651,970

Subsídios do agricultor e incentivos. Os agricultores que são mais vulneráveis às mudanças climáticas também são mais os pobres e têm acesso muito limitado à poupanças e recursos que podem ser usados para financiar investimentos ou para assumir riscos derivados do uso de novas práticas agrícolas. Portanto, o projecto vai fornecer subsídios e incentivos aos agricultores para ajudar na adopção de novas técnicas e, portanto, com maior rendimento. A finalidade destes subsídios é de incentivar a adopção de técnicas viáveis que fornecem benefícios suficientes aos agricultores para cobrir despesas de funcionamento e manutenção e a futura substituição do equipamento. Estes subsídios não se destinam a apoiar a técnicas que não tenham oportunidade de se tornar viáveis e que estejam dependentes de continuação dos subsídios, pelo menos a médio prazo. Devido à importância de incentivar a sustentabilidade e evitar a dependência de subsídios, o projecto vai providenciar um perito local em gestão de machambas que vai trabalhar com os engenheiros de campo, agentes de extensão, EMCs e agricultores com vista a incentivar a plena consciência da viabilidade das técnicas, também vai supervisionar os procedimentos de monitorização para reportar sobre a viabilidade do projecto. Esta disposição sublinha o facto de que o objectivo do projecto é de aumentar os rendimentos e resiliência climática e não simplesmente para fazer com que os agricultores adoptem as técnicas de GAA

A experiência recente do INGC em Caia e Mabote sugere que os agricultores vulneráveis podem não estar em condições de dar contribuições iniciais significativas aos custos de investimento. A sua contribuição só pode ser feita após a colheita, mas esta não é susceptível de ser mais do que cerca de 10% dos custos de investimento, dependendo do nível de investimento envolvido nas técnicas de GAA. A experiência do INGC também sugere que, no primeiro ano de adopção, os agricultores vulneráveis são incapazes de financiar o aumento dos custos de produção associados com a operação do equipamento de GAA ou a compra de insumos agrícolas necessários para explorar plenamente o potencial dos novos equipamentos. Uma vez alcançados os benefícios de rendimento, os agricultores devem então ser capazes de suportar os custos operacionais em curso, embora seja sempre difícil convencer os agricultores a desligarem-se do hábito de contar com subsídios. O projecto vai ter cuidado no sentido de garantir que os agricultores entendam que os subsídios vão ser fornecidos somente no primeiro ano. Para os agricultores mais vulneráveis, o projecto prevê um subsídio de 90% nos custos de investimento e um subsídio de 50% em custos operacionais e custos dos insumos seleccionados, excluindo os custos de mão de obra. Para os agricultores estáveis, o nível de subsídio vai reduzir para 50% dos custos de investimento e não vai ter nenhum subsídio em custos operacionais ou em insumos agrícolas. Estes subsídios vai ser pagos apenas na primeira fase de operação e todos os agricultores devem cobrir todos os custos nas épocas seguintes.

Tabela 4-19: Média de Subsídios Necessários para Equipamento e Insumos Agrícolas (\$/ha/época)

		Agricultores Vulneráveis	Agricultores estáveis
A1	Moto + superfície	1393	553
A2	Moto + mangueira	853	279
B	Poço + pedal	1777	854
C	Furos rasos + bomba submersível	1480	576
D	Captação de água: milho/feijões	545	275
E	Agricultura de Conservação: milho/feijões	200	100
F	Construção de diques e drenagem	1393	553

Os diferentes subsídios necessários para as diferentes opções não são uma indicação da atractividade económica das opções, que é tratada no capítulo 4.8.2. Isto porque cada uma das técnicas gera benefícios líquidos muito diferentes. Anualmente, o projecto vai trabalhar com 45 novas EMCs, com uma média de 3 locais de gestão de água por cada EMC e vai abranger 4,5 hectares por local, com um total de 203 ha por ano, no total. A adequação das opções varia entre as zonas agro-ecológicas. Para fins de orçamento, presume-se que a captação de água e a agricultura de conservação tenham maior impacto em Mabote, com a abertura de furos, onde os níveis de água não sejam muito profundos. Em Caia, presume-se que motobombas tenham maior impacto, mas que a agricultura de conservação também vai ser amplamente adoptada. Na Beira, presume-se que haja interesse em todas as três técnicas de drenagem e irrigação, e que a agricultura de conservação também seja amplamente usada. Porque a agricultura de conservação pode ser praticada em áreas que também beneficiam de micro-irrigação, alguns agricultores podem receber os benefícios de seguro para a agricultura de conservação, bem como os subsídios para micro-irrigação ou captação de água.

O subsídio necessário está apresentado na *Tabela 4-20*.

Tabela 4-20: Custos de Subsídios para os Agricultores e Incentivos

	Área	Custo/ha	Hectares			Custo \$			Total
			1º Ano	2º Ano	3º Ano	1º Ano	2º Ano	3º Ano	
Subsídios dos agricultores – todos os pólos									
A1: motobombas + sulco			7	7	7	10,721	10,721	10,721	32,162
A2: motobombas + tubagem			37	37	37	38,575	38,575	38,575	115,725
B: poço + pedal			7	7	7	14,755	14,755	14,755	44,324
C: lodo de rotação + eléctrico			27	27	27	44,129	44,129	44,129	132,387
D: WH milho/feijões			47	47	47	30,713	30,713	30,713	92,137
E: CA milho/feijões			64	64	64	77,360	77,360	77,360	232,081
F: Construção de diques/drenagem			14	14	14	21,441	21,441	21,441	64,324
Total:			203	203	203	237,714	237,714	237,714	713,141
Outros subsídios									
Arranque da rotação do lodo		2000	9	3	3	10,721	10,721	10,721	32,162
Apoio à comercialização						5,000	5,000	5,000	15,000
Mabote									
	33% da área do Projecto								
A1: motobombas + sulco	0%	1588	0	0	0	0	0	0	0
A2: motobombas + tubagem	0%	1039	0	0	0	0	0	0	0
B: poço + pedal	0%	2189	0	0	0	0	0	0	0
C: lodo de rotação + eléctrico	10%	1634	7	7	7	11,032	11,032	11,032	33,097
D: WH milho/feijões	50%	650	34	34	34	21,938	21,938	21,938	65,812
E: CA milho/feijões	40%	1206	27	27	27	32,573	32,573	32,573	97,718
F: Construção de diques/drenagem	0%	1588	0	0	0	0	0	0	0
Total	100%		67	67	67	65,543	65,543	65,543	
Caia									
	33%								
A1: motobombas + sulco	10%	1588	7	7	7	10,721	10,721	10,721	32,162
A2: motobombas + tubagem	30%	1039	20	20	20	21,041	21,041	21,041	63,123
B: poço + pedal	5%	2189	3	3	3	7,387	7,387	7,387	22,162
C: rotação de lodo + eléctrico	20%	1634	14	14	14	22,064	22,064	22,064	66,193
D: WH milho/feijões	10%	650	7	7	7	4,388	4,388	4,388	13,163
E: CA milho/feijões	25%	1206	17	17	17	20,358	20,358	20,358	61,074
F: Construção de diques/drenagem	0%	1588	0	0	0	0	0	0	0
Total	100%		67	67	67	85,969	85,969	85,969	257,577
Beira									
	33%								
A1: motobombas + sulco	0%	1588	0	0	0	0	0	0	0
A2: motobombas + tubagem	25%	1039	17	17	17	17,534	17,534	17,534	52,602
B: poço + pedal	5%	2189	3	3	3	7,387	7,387	7,387	22,162
C: rotação de lodo + eléctrico	10%	1634	7	7	7	11,082	11,082	11,082	33,097
D: WH milho/feijões	10%	650	7	7	7	4,368	4,368	4,368	13,163
E: CA milho/feijões	30%	1206	20	20	20	24,430	24,430	24,430	73,289
F: Construção de diques/drenagem	20%	1588	14	14	14	21,441	21,441	21,441	64,324
Total	100%		67	67	67	86,212	86,212	86,212	258,636

Orçamentação e alocação de custos. Cada EMC vai ter um orçamento indicativo de cerca de US \$4000 para despesas de formação no primeiro ano, mais um adicional de US \$1000 para fazer o acompanhamento da formação no segundo ano. Cada EMC também vai trabalhar com um orçamento indicativo de cerca de US \$5.500 em subsídios e incentivos para as novas técnicas de gestão de água para a agricultura. O estabelecimento de compromissos para além deste orçamento vai ser possível somente com a aprovação do gabinete central do projecto. Os EMCs vão se engajar na discussão sobre como usar melhor o seu orçamento e isso vai garantir que sejam seleccionadas as melhores técnicas. Os EMCs também vão estar cientes da necessidade de fazer com que os 4,5 ha passem a adoptar as técnicas de gestão de água para a agricultura.

4.7.2 Versões Menores do Projecto

O custo total do projecto mostra a escala mínima necessária para operar em todas as três vastas zonas agro ecológicas, oferecendo a série de técnicas de GAA, com vista a garantir simultaneamente que as técnicas adoptadas em cada área sejam tecnicamente viáveis, bem como economicamente sustentáveis e adequadas para os sistemas agrícolas. As pequenas versões do projecto também são possíveis, oferecendo uma cobertura mais limitada.

O núcleo básico de sustentabilidade do projecto é um único trabalhador de extensão de campo, que vai apoiar alguns distritos e incentivar os cerca de 75 agricultores na adopção de novas técnicas de GAA em cerca de 13ha. Em Moçambique, os custos de um agente de extensão são cerca de 4.000 dólares por ano, incluindo salário, despesas diárias¹¹ e transporte, mas excluindo qualquer formação para o trabalho de extensão. A análise deste relatório sugere que cada agente de extensão deve ter ajudas de custos de cerca de 17.000 dólares por ano para incentivos de agricultor e mais 10.000 dólares por ano em despesas de formação. Portanto, o custo total deste núcleo de sustentabilidade é cerca de 31.000 por ano. O nível de incentivos ou subsídios necessários para o agricultor depende das técnicas de GAA que sejam mais apropriadas em cada local. As principais técnicas seleccionadas, o custo dos incentivos por hectare variam de pouco mais de 1000 dólares (para moto bombas e tubulações) para mais de 2000 dólares (para bombas de pedal e poços rasos). O apoio às técnicas mais caras pode aumentar entre 800 dólares americanos (por parte) 1300 dólares americanos para os incentivos necessários por hectare.

O projecto completo envolve 15 agentes de extensão de campo e os seus custos directos são, portanto, cerca de 450.000 dólares anuais. Os custos de apoio em gestão e extensão são 460.000 dólares americanos no primeiro ano e cerca de 325.000 dólares americanos anuais, subsequentemente.

Projecto de média escala num pólo. Se as operações do projecto fossem limitadas a um único pólo, então a maior parte dos custos do projecto poderia ser reduzida aproximadamente na proporção ao número de agentes de extensão de campo. Por exemplo, se houvessem 5 agentes de extensão de campo, os custos seriam um terço dos custos do projecto total (ou seja cerca de 150.000 dólares anuais). A operar num único pólo, o projecto podia ser gerido por uma equipa de três peritos. Desta forma, iria eliminar a necessidade de gestão de nível médio, e isso significaria que os custos dos peritos nacionais que seriam relativamente caros e seriam

¹¹ Estes custos consideram que 60% dos custos em salários dos agentes extensionistas são cobertos pelo MINAG e pelo INGC porque maior partes deste agentes são funcionários efectivos do MINAG e do INGC. Os custos de transporte não estão distribuídos de forma igual durante o período do projecto, uma vez que incluem a compra de motocicletas no primeiro ano.

distribuídos por um número menor de agricultores. Assumindo que os três peritos fossem recrutados nos mesmos termos que os peritos nacionais na proposta integral d proposta, e compartilhassem uma única viatura, o custo de gestão seria de 150.000 dólares americanos no primeiro ano e de 120.000 dólares americanos anuais, subsequentemente, o que seria aproximadamente um terço dos custos de gestão para todo o projecto. Isto sugere que seria possível estabelecer o projecto num único pólo num custo que é cerca de um terço dos custos de todo o projecto. Partindo do princípio de que um dos peritos contratados pode fornecer a mesma qualidade global de supervisão como o a prestada pelo chefe da equipa, o IRR do projecto médio seria semelhante ao de todo o projecto. No entanto, a relevância dos resultados seria em grande parte limitada a uma zona agro ecológica principal. Além disso, se o pólo seleccionado Mabote ou Caia, o projecto não teria boas ligações com Beira e, portanto, seria mais difícil apoiar a contactos com fornecedores e comerciantes.

Projecto de pequena escala. Um projecto de pequena escala pode ser gerido por um perito e pode envolver apenas três agentes de extensão de campo trabalhando em algumas aldeias cada e incentivando 225 agricultores a adoptar técnicas de GAA. Por vezes, este é o modelo adoptado por projectos de ONGs. Projectos menores podem ser muito eficazes, tanto na melhoria de meios de subsistência dos agricultores e na demonstração de novas técnicas e abordagens. No entanto, são difíceis de manter e replicar em grande escala, por várias razões.

- Eles dependem da disponibilidade dos agentes de campo experientes, que muitas vezes são escassos. Em alguns casos (mas não todos), os pequenos projectos têm que pagar salários relativamente elevados para recrutar extensionistas com créditos para trabalhar sem uma extensa rede de apoio. A abordagem do PAGAA envolve trabalhar tanto quanto possível, com agentes de campo existentes que sejam funcionários do INGC e do MINAG.
- • Onde os pequenos projectos dependem do apoio técnico relativamente amplo, este recurso escasso tem um impacto relativamente pequeno. Em projectos de ONGs, o apoio técnico central é frequentemente fornecido pela ONG e, embora possa não haver custos directos para o país ou para os agricultores, as ONGs por si só, têm capacidade limitada e existe um alto custo de oportunidade para seu apoio.

Na versão menor do PAGAA, os agentes de extensão de três campos iriam custar cerca de 90.000 dólares americanos anuais e os custos de gestão de apoio seriam cerca de 70.000 dólares americanos no primeiro ano e cerca de 50.000 dólares americanos anuais, subsequentemente. A proporção dos custos relativos à gestão é maior do que no projecto de média escala e do projecto completo e a TIR é ligeiramente inferior.

A principal desvantagem do pequeno projecto é de que não vai ser possível explorar totalmente as possibilidades técnicas de GAA, porque o único especialista de apoio não vai ter a amplitude da experiência oferecida pelos três especialistas de projecto de média escala e do projecto completo. Em particular, um pequeno projecto é improvável de ser capaz de avaliar tanto a sustentabilidade técnica e económica de técnicas de GAA, a menos que as despesas adicionais sejam aumentadas. O pequeno projecto pode ser justificado como um projecto preparatório para o projecto completo, mas vai ser necessário tomar o devido cuidado para que as lições aprendidas a partir de um projecto de preparação sejam equilibradas e isso não vai ser fácil sem acesso a toda a vasta de experiência exigida.

4.8 RESULTADOS E IMPACTO

4.8.1 Produção Agrícola

No fim do período, o projecto terá abrangido 607ha. Cerca de metade deste, vai ficar sob técnicas de águas azuis, que vão ser usadas principalmente para vegetais de sequeiro. Isso vai resultar num aumento na produção de hortícolas de cerca de 3.000 toneladas/ano, maior partes das quais vai ser vendidas nos mercados locais e na Beira. Não existem dados oficiais para a produção de hortícolas em Moçambique. No entanto, caso se presumir que as famílias consomem uma quantidade semelhante de hortícolas e cereais, então as províncias de Sofala e Zambeze iriam consumir cerca de 400 mil toneladas/ano. A maior parte destas hortícolas vai ser consumida pelas famílias que as plantam. O consumo cresce 5% ao ano, ou cerca de 20.000 toneladas para o Zambeze e Sofala. O projecto não vai fornecer toda a área nas duas províncias, mas vai vender uma parte da produção para outras províncias. Portanto, o projecto vai fazer uma contribuição modesta, mas significativa para a demanda, fornecendo 15% do aumento da demanda por produtos hortícolas na região. O aumento da produção vai ser maior do que pode ser absorvido em mercados locais e o projecto vai estar dependente da venda para o mercado da cidade da Beira.

O aumento da produção vai ser em escala suficiente para deprimir os preços nas áreas onde as culturas estejam em crescimento. Os agricultores vão procurar vender fora da área nos principais mercados, como a cidade da Beira, onde o aumento da produção deve ter pouco efeito sobre os preços de mercado.

4.8.2 Análise de Custo-Benefício

A justificativa para o PAGAA depende da demonstração de que os benefícios são superiores aos custos. Esta secção considera os custos e benefícios do ponto de vista económico, ao invés do ponto de vista do agricultor. Como resultado, existem alguns ajustes que vão de preços financeiros para os preços económicos. No mercado económico relativamente aberto de Moçambique, o único ajuste que é feito é de deduzir o elemento fiscal de preços de mercado. Isto afecta os preços dos combustíveis, em particular.

Custos e benefícios em anos de precipitação normal. Os custos e benefícios das opções de GAA estão resumidos na *Tabela 4-21* e *Figura 4.18*. As tabelas sugerem que as relações de custo benefício variam de 2.0, para a captação de água, até 5.5 para opção A2 (ou seja, moto bombas com fonte de água de superfície, tubagem e mangueiras). Os custos incluem custos de mão de obra e, para a agricultura de conservação, supõem-se que vai haver uma queda de 40% de rendimento no primeiro ano e, em seguida, um aumento constante no rendimento de 40% acima do rendimento normal durante mais de 5 anos. Os custos mostram o BCR para o agricultor e não levam em consideração os custos de gestão e extensão, que são considerados na estimativa de projecto global IRR.

Observações: os custos são baseados na *Tabela 4-4*; rendimento incremental se baseia em orçamentos de colheita para Caia, como apresentado na *Tabela 4-7*, supondo que uma técnica de água azul

Tabela 4-21: Custos e benefícios das técnicas de Gestão de Água para a Agricultura seleccionadas (\$/ha/época)

	Custos Anuais	Benefícios Anuais	Relação Custo e Benefício
A1: moto + sulco	673	2283	3.4
A2: moto + mangueira	419	2283	5.5
B: poço + pedal	718	2283	3.2
C: rotação de lodo + eléctrico	662	2283	3.5
D: WH: milho/feijões	138	269	2.0
E: CA: milho/feijões	166	738	4.4
F: Drenagem de terras húmidas	673	2283	3.4

Notes: costs are based on Table 4.4; incremental yield is based on crop budgets for Caia as presented in Table 4.7, assuming a blue water technique

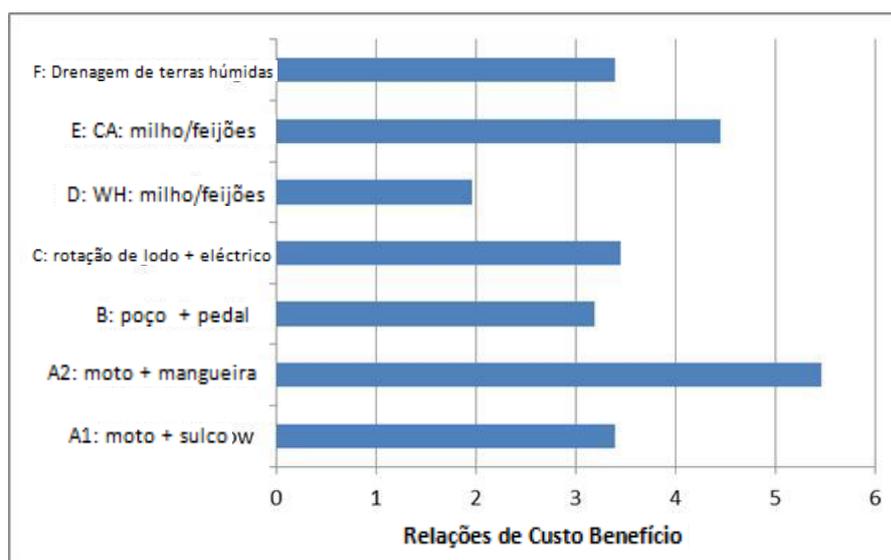


Figura 4-18: Relações de Custo Benefício para as principais opções de GAA

A análise acima apresenta a relação de custo benefício, tomando em conta apenas os custos de investimento de técnicas de GAA e insumos agrícolas e exclui os custos de formação e gestão de projectos. O orçamento do projecto sugere que os custos de investimento e as entradas são cerca de 30% do orçamento.

Tabela 4-22 mostra o fluxo de custo e benefícios, tendo em conta todos os custos do projecto e o valor das margens das grandes machambas. A análise assume que os custos do projecto seguem o orçamento apresentado na secção 4.7. Os custos operacionais da GAA são excluídos dos custos de investimento e são considerados como custos operacionais deduzidos das margens das machambas. Para evitar dupla contagem dos custos de investimento, as margens da fazenda excluem a parte dos custos de irrigação que estão associados com a amortização do investimento.

Tabela 4-22: Custos e fluxo de benefício do PAGAA, excluindo a resiliência climática e replicação

		1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	5º Ano	6º Ano	7º Ano	8º Ano	9º Ano	10º Ano
Custos (\$000)											
Assistência técnica		513	361	351							
Formação		184	234	234							
Subsídios e Incentivos		253	253	253							
Pouca contribuição de agricultores		0	76	76							
Total		950	773	763							
Benefícios da Quinta	\$/ha										
A1: moto-bomba	1790	12	24	36	36	36	36	36	36	36	36
A2: moto + mangueira	1790	66	133	199	199	199	199	199	199	199	199
B: poço + pedal	1790	12	24	36	36	36	36	36	36	36	36
C: lodo de rotação + eléctrico	1790	48	97	145	145	145	145	145	145	145	145
D: captação de água	269	13	25	38	38	38	38	38	38	38	38
E: CA-milho/feijões	738					47	95	142	142	142	142
F: Drenagem de terras húmidas	1790	24	48	73	73	73	73	73	73	73	73
Total		176	352	528	528	575	622	669	669	669	669
Benefícios líquidos IRR		-775 24%	-421	-235	528	575	622	669	669	669	669
Protecção contra o período de seca		14	28	43	43	43	43	43	43	43	43
Benefícios líquidos revistos		-760	-393	-193	570	617	665	712	712	712	712
IRR revisto		27%									

A análise sugere que a taxa global de retorno (TIR) para o projecto é de 24%. Presume-se que os benefícios alcançados durante os três anos do projecto sejam sustentados no mesmo nível do 4º ano em diante. Enquanto isso, isso pode ser considerado uma hipótese optimista, e a análise também considera que não vai haver nenhum efeito de demonstração mais amplo, que é uma suposição conservadora com implicações potenciais comparáveis.

Benefícios adicionais da resiliência à variabilidade de precipitação. A análise acima aplica-se aos anos de precipitação normal. Para técnicas de GAA de água potável, os benefícios são tidos como provenientes da irrigação da estação seca e é geralmente de pouco valor para usar as técnicas na estação chuvosa, se a chuva for abundante. Agricultura de colheita e conservação de água fornecem benefícios, gerando aumentos na produção de estação chuvosa.

No entanto, se o investimento tiver sido feito em equipamentos de GAA, vai haver potenciais ganhos na utilização deste equipamento na estação chuvosa, se a precipitação estiver abaixo do normal ou se houver curtos períodos de seca que ameaçam prejudicar a colheita. A secção 4.4.3. considera os benefícios da irrigação suplementar na estação chuvosa, para proteger contra a seca e períodos de seca e sugere que o valor médio anual desta protecção seja cerca de 26% da produção de estação chuvosa. Se esses benefícios estiverem incluídos, em seguida, a IRR vai subir para 28%.

É claro que as Mudanças Climáticas vai levar a maior variabilidade de precipitação. No entanto, há evidências limitadas, ainda, sobre a magnitude desta mudança. Alguns indícios estão disponíveis a partir do relatório preliminar de SREX emitido recentemente pelo IPCC (IPCC 2011). Estas ainda não estão num formulário que pode ser facilmente usado para modelagem de impacto. Eles sugerem que Moçambique vai ter um aumento na frequência de períodos prolongados de dias consecutivos de seca, mas que este aumento vai ser relativamente moderado em comparação com algumas partes do mundo. No entanto, como estes dados parecem estar relacionados com a duração do número máximo de dias secos consecutivos, parece estar mais relacionado com a duração da estação seca, em vez da frequência ou a duração dos períodos de seca na estação chuvosa.

Sem qualquer base para estimar o impacto das mudanças climáticas na variabilidade de precipitação, não é possível estimar se uma maior frequência e duração dos períodos secos durante a estação chuvosa tiver um grande impacto sobre a rentabilidade do PAGAA. No entanto, alguma indicação da ordem de grandeza do impacto da mudança dos padrões de períodos secos durante a estação chuvosa é dada pelo facto de que tendo em consideração os actuais padrões a TIR sobe de 24% para 27%. Enquanto que este é um aumento significativo, não é um grande aumento e a viabilidade do projecto não depende deste aumento. Mesmo que as Mudanças Climáticas duplique a severidade do impacto dos períodos de seca na produção da estação chuvosa, pode se esperar um aumento de apenas mais 3% para o TIR. No entanto, estas estimativas são apenas muito indicativas como a relação entre a duração e a frequência dos períodos secos e produção de hortícolas é extremamente complexa e depende o tempo do período de seca na estação de crescimento e na medida em que as culturas estejam a ser plantadas perto de limiares. O nível de detalhes fornecidos pelas previsões de Mudanças Climáticas ainda não é suficiente para permitir se chegar a conclusões mais sustentáveis.

Análise de sensibilidade. O impacto de diferentes hipóteses sobre a TIR está resumido na *Tabela 4-23*. Isso mostra que o projecto é sensível a hipóteses sobre o valor do trabalho e rendimento das culturas e preços. As hipóteses sobre o rendimento das culturas estão relacionadas com os rendimentos que vão ser alcançados quando as técnicas de GAA estiverem disponíveis, tanto na estação seca bem com na época chuvosa, quando as técnicas de GAA se protegerem contra a variabilidade da precipitação na estação seca. Em particular, o desempenho do projecto é altamente sensível a hipótese sobre o rendimento e o preço dos produtos hortícolas. A recolha de dados de preços de produtos hortícolas é notoriamente difícil e, em comum com a maioria dos governos africanos, não há nenhuns dados de preços oficiais publicados pelo governo. Os dados sobre os preços utilizados para esta análise basearam-se em discussões com os comerciantes sobre a evolução recente dos preços. Os custos de combustíveis são também importantes, mas têm um impacto menor, a menos que os preços aumentem drasticamente.

Tabela 4-23: Sensibilidade da TIR a Pressupostos

	Valor inicial	Teste de Sensibilidade	
		Mudança	IRR Revisto
Cabeçalho do IRR			24%
Valor do trabalho	1 Dólar por dia	+20%	20%
Custo de Combustíveis	0.9 dólar por litro	+20%	23%
Rendimento de produtos hortícolas (Caia)	12.0 t/ha	-10%	16%
Cabeçalho do IRR		-10%	24%

Observação: uma variação de 10% nos preços de cultura dá os mesmos resultados de sensibilidade como uma variação de 10% no rendimento.

4.8.3 Impacto Sobre o Balanço Hídrico

O volume de água afectado pelo PAGAA é muito pequeno, comparado com outros usuários. Espera-se que o projecto vá afectar cerca de 600ha no final do terceiro ano, dos quais cerca de 300ha incluem a irrigação com água azul e o resto com a captação de água e a agricultura de conservação. A irrigação com água azul a criação de cerca de 3200 m³/ha/temporada de água disponível para as plantas, o que vai xigir cerca de 6400 m³/ha/ano, com uma hipótese conservadora de 50% de eficiência de irrigação. No final do período, sobre 250ha estará sob irrigação de água potável, sugerindo uma utilização total de aproximadamente 1,6 mm. Esta é extraída de rios ou de reservas de águas subterrâneas e, portanto, reduz a água disponível para outros fins.

A potencial de água usada pelas tecnologias de irrigação da água azul vai ser parcialmente compensada pela captação de água e pelas tecnologias de agricultura de conservação, que vão aumentar a infiltração no subsolo e reduzir o escoamento superficial na época das chuvas. A infiltração de água vai recarregar e aumentar os níveis de água subterrânea e aumentar as descargas de fluxo na estação seca. O aumento das águas subterrâneas vai garantir uma melhor confiança nas tecnologias de irrigação com água azul, bem como beneficiar a existência de água azul e o seu armazenamento.

O volume total de água abrangida pelo projecto é cerca de 1 hora do fluxo do Rio Zambeze. No entanto, o projecto visa actuar como um catalisador para a expansão das técnicas de GAA. No Zambeze, por exemplo, há cerca de 6 milhões hectares de terra que são também compatíveis ou apropriadas para a GAA, que sugere que haja grande margem para a expansão da GAA. Por exemplo, se a taxa de aprovação alcançada no projecto fosse duplicada, iria levar mais de 50 anos antes de 1% do fluxo do Rio Zambeze fosse necessário. Na prática, os limites da expansão vai resultar da expansão da demanda de mercado para os produtos, em vez da disponibilidade de água.

Em Mabote, o impacto sobre o equilíbrio de água poderia ser mais significativo uma vez que os volumes de fluxo de superfície e de recarga de água subterrânea são muito mais baixos. No entanto, grande parte do projecto vai se dedicar à captação de água e a agricultura de conservação e a captação de água dos rios e de águas subterrâneas vai ser muito menor do que em Caia e Beira. O próximo impacto da captação de água no escoamento em rios requer um estudo mais aprofundado.

Assim, a expansão das tecnologias de irrigação da GAA exige uma monitorização cuidadosa dos recursos hídricos locais e deve ser acompanhada de solo paralelo e de actividades de conservação de água, com especial atenção à promoção de técnicas de agricultura de conservação.

4.9 RISCOS

Produtos hortícolas de rendimento e preços. A análise de sensibilidade sugere que a viabilidade do projecto é particularmente sensível aos rendimentos e preços obtidos para os produtos hortícolas. Dada a experiência com projectos anteriores do INGC em Caia, onde às vezes era difícil obter produtos para o mercado, o PAGAA vai expandir as suas actividades para cidade da Beira, para poder facilitar uma boa rede de mercado entre comerciantes na Beira e agricultores em Caia e, em menor escala, em Mabote.

O não pagamento de contribuições de agricultores nos custos. Porque o projecto tem como objectivo beneficiar principalmente os agricultores que são mais vulneráveis às mudanças climáticas, torna-se necessário subsidiar o equipamento De GAA e insumos agrícolas necessários para se obter os benefícios do equipamento na totalidade. Na maior parte dos casos, os agricultores não vão ter poupanças suficientes para conseguir dar a sua contribuição nestes custos adicionais até à colheita, quando forem alcançados os benefícios. Entretanto, nos últimos anos tem sido positiva a experiência do INGC em relação às contribuições nos custos, e isso vai se tornar mais difícil com o aumento das actuais actividades o PAGAA.

A possibilidade de recuperar alguma contribuição nos custos a partir dos agricultores vai contribuir para que o projecto possa expandir as suas actividades no segundo e terceiro ano. A contribuição total dos agricultores nos custos no primeiro ano vai ser cerca de US \$75.000 e vai desta forma contribuir cerca de 30% do financiamento de equipamentos e insumos agrícolas no segundo ano. Embora 80% dos beneficiários do projecto vão ser os agricultores vulneráveis, a proveniência da maior parte das contribuições nos custos vai ser dos agricultores estáveis, isto porque eles têm áreas maiores e prestam uma maior contribuição nos custos. Qualquer falha generalizada para recolha de contribuições nos custos, especialmente por parte dos agricultores estáveis não vai somente reduzir os gastos do projecto nos anos futuros, mas também vai prejudicar a abordagem do projecto e a importante distinção e a complementaridade dos dois tipos de beneficiários.

O projecto vai ter como objectivo minimizar esse risco através de trabalho com os EMCs e explicar a estratégia de contribuição nos custos desde o início. Por essa razão, o projecto vai precisar de estabelecer regras claras e coerentes. As contribuições dos agricultores nos custos vão ser tornadas públicas dentro do EMC, incentivando assim a pressão dos colegas para sejam feitas contribuições dos agricultores na despesas.

Mau uso de insumos agrícolas. Há um risco de que os agricultores não vão usar todos os insumos agrícolas subsidiados em terrenos que se beneficiam das novas tecnologias de GAA. Principalmente, esse risco está relacionado com a captação de água e a agricultura de conservação na produção de estação chuvosa, uma vez que os subsídios para as técnicas de irrigação com água azul vão ser fornecidas para a irrigação na estação seca, quando não houver quaisquer culturas de GAA. Existem dois elementos para este risco.

- Em primeiro lugar, insumos agrícolas usados em terrenos não pertencentes à GAA vão gerar retornos mais baixos, porque as sementes melhoradas são seleccionadas para dar retornos mais elevados, com boa disponibilidade de água.
- Em segundo lugar, e, mais importante, com o uso de insumos agrícolas nas culturas que não pertençam à GAA vai se comprometer a comparação entre desempenho da GAA e o desempenho de culturas que não pertencem ao ciclo de GAA.

A abordagem dos EMC do projecto vai ajudar a lidar com esses riscos, uma vez que vai haver uma supervisão de pares. Além disso, o projecto vai investir na sua própria supervisão, com cerca de 25% do tempo da equipa de campo que vai ser usado para a monitorização e avaliação. O especialista em planificação central vai dedicar metade do seu tempo para a monitorização e avaliação e vai fazer a coordenação integral para a supervisão à nível de cada pólo.

Distorção de incentivos para favorecer as técnicas de capital intensivo. Existe uma variação muito grande na intensidade de capital das diferentes técnicas de GAA, conforme mostrado na *Tabela 4-24*. A política de subsidiar o custo de capital dos equipamentos vai incentivar os agricultores a seleccionar técnicas de GAA que são de capital intensivo, mesmo quando estas forem menos sustentáveis. Para as bombas solares, este risco é menos grave, porque os custos totais anuais não são muito diferentes de outras opções de elevação de água que são de capital menos intensivo. Esse risco vai ser abordado, limitando o apoio do projecto na irrigação por gotejamento e por aspersão para testes piloto, a menos que estes testes pilotos venham a provar que os custos são muito inferiores ao previsto.

Tabela 4-24: Intensidade de capital das técnicas de GAA

	Depreciação como % dos custos totais anuais
Elevação de água	
Moto-bomba	10%
Gerador à diesel e bomba eléctrica	15%
Bomba solar	98%
Irrigação	
Mangueira	5%
Irrigação por gotejamento	95%
Irrigação por aspersão	25%

Mercado. O apoio recente do INGC no Distrito de Caia é reportado como tendo passado por dificuldades com a venda do excedente da produção. Esse risco vai ser abordado pelas actividades do projecto para apoiar o surgimento de contactos de mercados com os comerciantes na cidade da Beira. O pólo do projecto na cidade da Beira vai se dedicar principalmente no apoio à GAA em machambas perto da cidade Beira. No entanto, também vai ajudar no estabelecimento de vínculos entre os comerciantes na cidade da Beira e agricultores do Distrito de Caia. Podem ser alocados alguns incentivos financeiros modestos aos comerciantes para incentivá-los a fazer algumas viagens para o Distrito de Caia para estabelecer contactos. Contudo, não vai ser disponibilizados subsídios a longo prazo para a comercialização.

Concorrência institucional. O projecto vai depender a boa cooperação entre as principais instituições envolvidas, incluindo o INGC, o MINAG e funcionários do governo local. Esta cooperação é frequentemente eficaz a nível local e o projecto deve procurar estabelecer um bom ambiente de cooperação, utilizando como extensionistas os agentes de campo do INGC

existentes e os agentes de extensão do MINAG, sempre que possível. A nível nacional, esta cooperação vai ser impulsionada por um grupo de coordenação que existe nas principais instituições de governo envolvidas, bem como outros representantes.

Inércia no campo. O projecto vai depender da existência de extensionistas activos e motivados. Isso vai ser possível através da formação e capacitação e através da disponibilização de fundos para despesas e deslocações. Onde necessário, o projecto vai ter a flexibilidade para adoptar estratégias inovadoras para recrutar novos extensionistas. Por exemplo, ao recrutar quaisquer extensionistas adicionais, quando necessário, deve ser possível considerar a contratação de uma instituição, ao invés de singulares. As instituições interessadas podem incluir uma ONG ou um fornecedor de equipamentos ou insumos agrícolas que estiver interessado em fornecer extensão complementar.

4.10 REFERÊNCIAS

- Alavian, V., H. M. Qaddumi, *et al.* (Nov 2009). "Water and Climate Change: Understanding the risks and making climate-smart investment decisions." http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2010/02/01/000333038_20100201020244/Rendered/PDF/529110NWP0Box31ge0web0large01128110.pdf
- AWF (2006). "Projet Pilote a l'Introduction des Techniques de Collecte et d'Utilisation des Eaux de Pluie a Bugesera: Rapport d'Evaluation."
- AWF (2009). "Integrated Water Harvesting Project, Mpumalanga, South Africa: Appraisal Report."
- Awulachew, S., D. Merrey, *et al.* (2005). "Experiences and Opportunities for Promoting Small-Scale/Micro Irrigation and Rainwater Harvesting for Food Security in Ethiopia." *IWMI Working Paper 98*. www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working_Papers/working/WOR98.pdf.
- Brito, R. (2011). "Impact of Climate Change on Agricultural Productivity in Mozambique."
- Brito, R. (2011). "Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique: Climate Change and Agriculture." *INGC Draft Report*.
- Brito, R., E. Holman, *et al.* (2011). "Adaptation to Climate Change in Mozambique." *10th African Crop Science Society Conference, Maputo, 11 October 2011*.
- Chilimba, A. D. C. and L. Liwimbi (2009). "Evaluation of Rain Water Harvesting Technologies in Semi-Arid Areas of Malawi for Crop Production." *Chitedze Agricultural Research Station*. <http://www.cabi.org/GARA/FullTextPDF/2008/20083327058.pdf>.
- Coughlin, P. E. (2006). "Agricultural Intensification in Mozambique: infrastructure, policy and institutional framework - when do problems signal opportunities?" *SIDA AFCS Report*.
- Critchley, W. and K. Siegert (1991). "Water Harvesting." *FAQ*. <http://www.fao.org/docrep/U3160E/U3160E00.htm>.
- Dambiro, J., F. Xavier, *et al.* (2011). "Introducing Conservation Agriculture in the Quirimbas National Park of Cabo Delgado, Northern Mozambique." *Aga Khan Foundation*.
- Dzeco, C., C. Amilai, *et al.* (2010). "Farm field schools and farmer's empowerment in Mozambique: A pilot study." http://ifsa.boku.ac.at/cms/fileadmin/Proceeding2010/2010_WS1.1_Dzeco.pdf.
- Falkenmark, M. and J. Rockstrom (2004). "Balancing Water for Humans and Nature: the New Approach in Ecohydrology." http://books.google.co.uk/books?id=vkhtiv8xRAC&pg=PA174&lpg=PA174&dq=Johan+Rockstr%C3%B6m+Quenia+Supplementary+Irrigation&source=bl&ots=t_zoY2ufSg&sig=gyyx3lqwEpE11X5wL9-LH4abyA&hl=en&sa=X&ei=aQ05T9iGNYSM-wba583wAQ&sqi=2&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q=Johan%20Rockstr%C3%B6m%20Quenia%20Supplementary%20Irrigation&f=false.
- FAO (2007). "A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture." http://www.fao.org/nr/water/docs/Summary_SynthesisBook.pdf.
- FAO (2011). "Assessment of Investment Potential for Selected AWM Interventions."
- FAO (2011). "Review of Water Control Technologies in the FAO Programmes for Food Security." <http://www.fao.org/docrep/014/i2176e/i2176e00.pdf>.
- Finscope (2009). "FinScope Mozambique Survey."
- GoM (2008). "Plano de Accao para a Producao de Alimentos 2008-2011."
- GoM (2011). "Strategic Programme for Climate Resilience." <http://www.climateinvestmentfunds.org/cif/sites/climateinvestmentfunds.org/files/PPCR%206%20SPCR%20Mozambique.pdf>.

- Gowing, J. (2000). "Development of improved cropping systems incorporating rainwater harvesting/conservation." <http://www.nrsp.org/database/documents/775.pdf>.
- Grabowski, P. (2011). "Observations on the Promotion of Conservation Agriculture in Cabo Delgado and Nampula, Mozambique." Trip Report Manuscript.
- Grabowski, P. P. (2011). "Constraints to Adoption of Conservation Agriculture in the Angonia Highlands of Mozambique: perspectives from smallholder hand-hoe farmers." Masters Thesis, Michigan State University.
- GWP (2010). "Water Security for Development: Insights from African Partnerships in Action." http://www.gwp.org/Global/About%20GWP/Publications/Water%20Security%20for%20Development_report__final_2010.pdf.
- HLCWAEA (2008). "National Investment Brief Mozambique." High-Level Conference on Water for Agriculture and Energy in Africa: the Challenges of Climate Change. <http://www.sirtewaterandenergy.org/docs/reports/Mozambique-Draft2.pdf>.
- Holman, E. (2011). "Responding to Climate Change in Mozambique Theme 6: Modeling the impact of midcentury climate change on crop yield in Mozambique: effect of rise in temperature, background ozone and atmospheric CO₂, a layer approach." INGC Draft Report.
- IDE (2003). "Affordable Small Scale Irrigation Technologies." <http://www.ide-uk.org/IDE-small-scale-irrigation-technologies.pdf>.
- IFAD (2007). "Niassa Agricultural Development Project. Completion Evaluation." http://www.ifad.org/evaluation/public_html/eksyst/doc/prj/region/pf/mozambique/mz_07.pdf.
- IFAD (2010). "IFAD Mozambique Country Programme Evaluation." http://www.ifad.org/evaluation/public_html/eksyst/doc/country/pf/mozambique/Mozambique.pdf.
- IMAWESA (2007). "Policies & Institutional Frameworks Impacting on Agricultural Water Management in Eastern & Southern Africa (ESA): Synthesis Report of a Rapid Appraisal Covering Nine Countries in the ESA." Improved Management Of Agricultural Water In Eastern & Southern Africa. <http://imawesa.info/wp-content/uploads/2011/07/IMAWESA-Policy-Report-2a-Policy-study-Regional-synthesis.pdf>.
- INGC (2009). "Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique."
- IPCC (2011). "Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of Working Group I and Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change." <http://ipcc-wg2.gov/SREX/>.
- IWMI (2006). "Agricultural Water Management Technologies for Small Scale Farmers in Southern Africa: An Inventory and Assessment of Experiences, Good Practices and Costs." http://www.fanrpan.org/documents/d00509/AWM_technologies_Merrey_Apr2006.pdf.
- IWMI (2007). "Water for Food Water for Life: a comprehensive assessment of water management in agriculture." <http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/>.
- IWMI (2009). "Flexible Water Storage Options and Adaptation to Climate Change." IWMI Water Policy Brief. http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Water_Policy_Briefs/PDF/WPB31.pdf.
- Marongwe, L., K. Kwazira, *et al.* (2010). "The role of Conservation Agriculture in increasing crop productivity for small holder farmers in Zimbabwe." http://aci.gov.au/files/node/14068/the_role_of_conservation_agriculture_in_increasing_17601.pdf.
- Mazvimavi, K. (2011). "Socio-Economic Analysis of Conservation Agriculture in Southern Africa." FAO Network Paper 02.

- <http://devstudies.wisc.edu/docs/Kizito%20REOSA%20Network%20Paper%202%20Socioeconomic%20Analysis.pdf>.
- McCartney, M. (2011). "Rethinking water storage for agricultural adaptation to climate change in Sub-Saharan Africa." <http://africastorage-cc.iwmi.org/outputs.aspx>.
- McCartney, M. and V. Smakhtin (2010). "Water Storage in an Era of Climate Change: addressing the challenge of increasing rainfall variability." IWMI Blue Paper. www.iwmi.cgiar.org/Topics/Water_Storage.
- MICOA (2007). "Mozambique National Adaptation Programme of Action (NAPA)." Ministry For The Coordination Of Environmental Affairs. http://preventionweb.net/files/8531_moz01.pdf.
- Milder, J., T. Majanen, *et al.* (2011). "Performance and Potential of Conservation Agriculture for Climate Change Adaptation and Mitigation in Sub-Saharan Africa: an assessment of WWF and CARE projects in support of the WWF-CARE Alliance's Rural Futures Initiative." ca2africa.cirad.fr/index.php?...EcoAgriculture%2C+Conservation+...
- MINAG (2010). "Proposta de Estrategia Nacional de Irrigacao."
- MINAG (2011). "Plano Estrategico para a Desenvolvimento do Sector Agrario 2011-2020."
- NEPAD/CAADP (2009). "Sustainable Land and Water Management: CAADP Pillar 1 Framework." www.caadp.net/pdf/CAADP%20Pillar%201%20Framework.pdf.
- Nhamusso, A. (2012). "Synthesis the Workshop "The Future of Conservation Agriculture in Mozambique"." http://www.iiam.gov.mz/documentos/isfm/CA_synthesis.pdf.
- NRSP (2007). "Eastern Africa: Drylands rainwater harvesting (RWH) and issues around rainwater management." <http://www.nrsp.org/pdfs/resources/NSS/EA%20S1%20NSS%2005-06.pdf>.
- Obuobie, E. (2010). "Assessment of Soil and Water Management, Irrigation Practices and Water Quality. Freetown Urban Agriculture Water Management, COOPI (Cooperazione Internazionale) Sierra Leone."
- Oweis, T. and A. Hachum (2009). "Supplemental Irrigation for Improved Rainfed Agriculture in WANA Region." CAB International 2009. Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential (eds S.P. Wani *et al.*). http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Rainfed_Agriculture/Protected/Rainfed_Agriculture_Unlocking_the_Potential.pdf.
- Peacock, T. (2005). "Agricultural water Development for poverty reduction in Eastern and southern Africa." IFAD Report for the Collaborative Program on Investments in Agricultural Water Management in sub-Saharan Africa: Diagnosis of Trends and Opportunities.
- Penning De Vries, F., H. Sally, *et al.* (2005). "Opportunities for Private Sector Participation in Agricultural Water Development and Management." IWMI Working Paper 100. www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working_Papers/working/WOR100.pdf.
- Penninkhoff, P. (2009). "The State of Local Economic Development in Mozambique." KIT Development Policy and Practice for UNCDF.
- Rusinamhodzi, L., M. Corbeels, *et al.* (2011). "A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions." Agronomy for Sustainable Development **31**(4): 657-673. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0040-2>.
- Smith, M. (2002). "Concepts and Options to Improve Water Productivity." FAO.
- Stephens, T. (2010). "Manual on small earth dams: a guide to siting, design and construction." FAO Irrigation and Drainage Paper 64. <http://www.fao.org/docrep/012/i1531e/i1531e.pdf>.

- Taimo, J. P. C., A. Calegari, *et al.* (2006). "Conservation Agriculture Approach for Poverty Reduction and Food Security in Sofala Province, Mozambique." 18th World Congress of Soil Science, July 9-15, 2006, Philadelphia. <http://a-c-s.confex.com/crops/wc2006/techprogram/P17420.HTM>.
- Turrall, H., J. Burke, *et al.* (2011). "Climate Change, Water and Food Security." FAO Water Report 36. www.fao.org/docrep/014/i2096e/i2096e00.htm.
- Twomlow, S., J. Urolov, *et al.* (2008). "Lessons from the field – Zimbabwe's Conservation Agriculture Task Force." Journal of SAT Agricultural Research 6. <http://www.icrisat.org/journal/Volume6/aes/Twomlow.pdf>.
- UN Water (2009). "Water in a Changing World." UN World Water Development Report 3.
- UN Water (2009). "Mozambique Country Survey on Water Sector Coordination: overview assessment and in-depth dialogue." Task Force on Country Level Coherence and Coordination. waterwiki.net/images/9/9b/Mozambique_report_23Apr09.doc.
- UNEP (2005). "Potential for Rainwater Harvesting in Africa: a GIS overview." www.unep.org/pdf/RWH_in_Africa-final.pdf.
- van Koppen, B., R. Namara, *et al.* (2005). "Reducing Poverty through Investments in Agricultural Water Management: Poverty and Gender Issues and Synthesis of Sub-Saharan Africa Case Study Reports." IWMI Working Paper 101. www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working_Papers/working/WOR101.pdf.
- Vletter, F. d. (2006). "Microfinance in Mozambique: Achievements, Prospects & Challenges." http://uncdf.org/english/microfinance/uploads/sector_assessments/Mozambique%20-%20SA.pdf.
- Water Aid (2012). "Technology Notes." http://www.wateraid.org/uk/what_we_do/sustainable_technologies/technology_notes/default.asp.
- World Bank (2007). "Investment in Agricultural Water for Poverty Reduction and Economic Growth in Sub-Saharan Africa: a collaborative programme of ADB, FAO, IFAD, IWMI and World Bank. Synthesis Report." <http://siteresources.worldbank.org/RPDLPROGRAM/Resources/459596-1170984095733/synthesisreport.pdf>.
- World Bank (2007). "Mozambique Country Water Resources Assistance Strategy: Making Water Work for Sustainable Growth and Poverty Reduction." http://waterwiki.net/images/2/2f/Mozambique_-_Mozambique_Country_Water_Resources_Assistance_Strategy.pdf.
- World Bank (2008). "Agriculture for Development." World Development Report. http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2008/Resources/WDR_00_book.pdf.
- World Bank (2010). "Economics of Adaptation to Climate Change: Mozambique." http://www.africa-platform.org/sites/default/files/resources/Economics_of_Adaptation_to_Climate_Change_2011.pdf.
- World Bank (2011). "Mozambique: Analysis of Public Expenditure in Agriculture." http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2011/05/11/000333037_20110511005047/Rendered/PDF/599180ESW00public00BOX358354B.pdf.
- World Bank (2011). "PROIRRI Appraisal Report." http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2011/02/28/000370910_20110228085629/Rendered/PDF/595900P1075980IDA1R20111004011.pdf.
- World Resources Institute, UNEP, *et al.* (2011). "World Resources Report." <http://www.worldresourcesreport.org/wrr-2010-2011>.

You, L. (2008). "Irrigation Investment Needs in Sub-Saharan Africa, World Bank Africa Infrastructure Country Diagnostic." *IFPRI Background Paper 9*. <http://www.eu-africa-infrastructure-tf.net/attachments/library/aicd-background-paper-9-irrig-invest-summary-en.pdf>.

ANEXO

A.2.1 Dados Topográficos

A (rearranjada) equação [2.1] de Hey e Thorne (1986) foi usada nos cálculos da profundidade do canal. A visualização da equação é feita na *Figura A2.1* para larguras de 10m a 1000m.

$$\text{Profundidade} = 0.0638 \times \text{Inclinação}^{-0.1294} \times \text{Largura}^{0.6287} \quad [2.1]$$

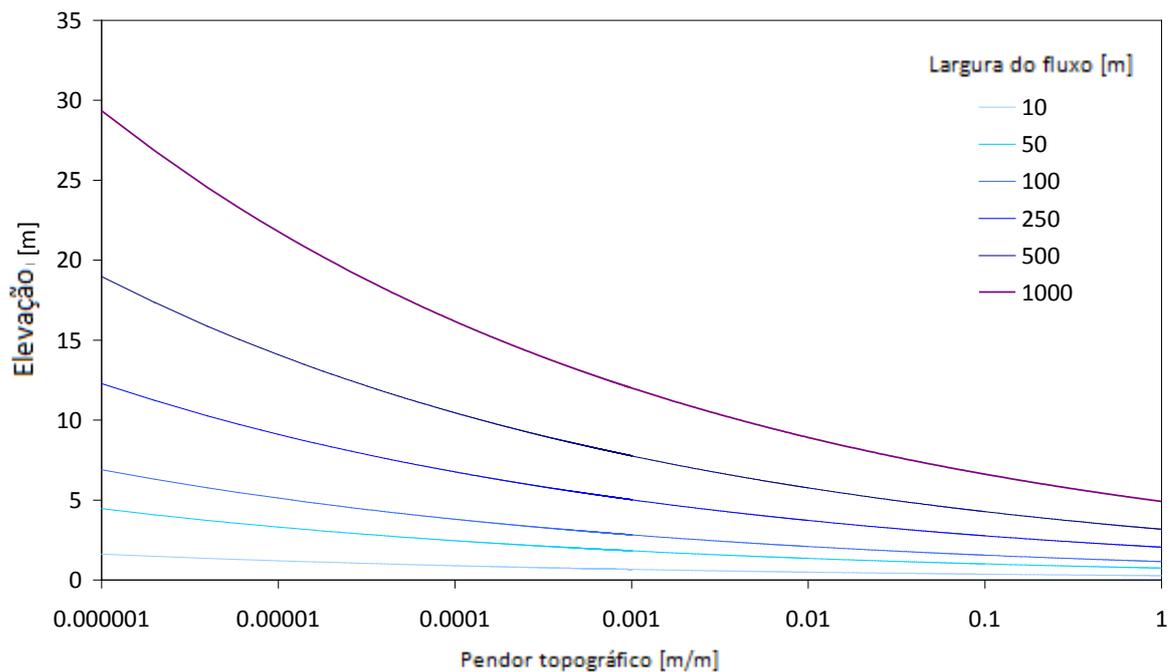


Figura A2.1.1: Diagrama de Hey e Thorne's (1986) equação empírica para derivar a profundidade a partir da largura e inclinação

A.2.2 Dados de Fluxos

Estavam disponíveis múltiplas estações do RMSI (2009) que definiam os períodos de retorno. A partir destas, foram incluídos nos dados de base dos fluxos, os fluxos mínimos, médios e máximos. Os valores são definidos como as descargas na extremidade a jusante dos rios. O fluxo de secção cheia para o Zambeze foi obtido a partir de Beilfuss e Dos Santos (2001). Para o Pungwe e o Limpopo, foram filtradas imagens do Google Earth durante os quais os rios se encontravam cheios. O caudal máximo observado foi extraído da serie temporal da DNA. O fluxo de secção cheia foi então definido entre este máximo e o fluxo abaixo de 2 anos de período de retorno fornecido pelo RMSI (2009). A elevação do nível das águas do mar foi obtida do INGC (2009) de onde foram estimados valores para vários períodos de retorno. Os períodos de retorno de 2 e 20 anos são importantes para as simulações, pois estes dois eventos actuam como referencia aos cenários de fluxos de mudanças climáticas.

Tabela A2.2.1 Cenários de fluxos de base, fonte de dados entre parêntesis

Categoria de descarga e fonte de dados Cenários de base	Zambeze		Pungué		Limpopo		
	Fluxo [m ³ /s]	Nível das águas do mar [mASL]	Fluxo [m ³ /s]	Nível das águas do mar [mASL]	Fluxo [m ³ /s]	Nível das águas do mar [mASL]	
Secção cheia (fontes múltiplas de dados)	5,000	3.53	500	3.53	1,050	1.87	
2 anos de período de retorno (RMSI 2009)	mínimo	4,980	3.59	536	3.59	470	1.92
	médio	5,963	3.59	567	3.59	1,114	1.92
	máximo	6,945	3.59	597	3.59	1,596	1.92
5 anos de período de retorno (RMSI 2009)	mínimo	10,462	3.78	807	3.78	1,116	2.10
	médio	10,653	3.78	1,053	3.78	2,305	2.10
	máximo	10,844	3.78	1,299	3.78	3,476	2.10
10 anos de período de retorno (RMSI 2009)	mínimo	12,790	3.92	987	3.92	1,754	2.24
	médio	13,862	3.92	1,388	3.92	3,169	2.24
	máximo	14,933	3.92	1,789	3.92	4,787	2.24
20 anos de período de retorno (RMSI 2009)	mínimo	15,024	4.07	1,159	4.07	2,248	2.38
	médio	16,885	4.07	1,703	4.07	4,017	2.38
	máximo	18,746	4.07	2,246	4.07	6,010	2.38
50 anos de período de retorno (RMSI 2009)	mínimo	17,915	4.26	1,382	4.26	2,681	2.56
	médio	20,655	4.26	2,093	4.26	5,128	2.56
	máximo	23,394	4.26	2,803	4.26	7,500	2.56
100 anos de período de retorno (RMSI 2009)	mínimo	20,082	4.41	1,549	4.41	3,005	2.70
	médio	23,359	4.41	2,370	4.41	5,972	2.70
	máximo	26,636	4.41	3,191	4.41	8,539	2.70
200 anos de período de retorno (RMSI 2009)	mínimo	22,240	4.55	1,716	4.55	3,328	2.84
	médio	25,949	4.55	2,635	4.55	6,830	2.84
	máximo	29,658	4.55	3,553	4.55	9,508	2.84
500 anos de período de retorno (RMSI 2009)	mínimo	25,088	4.74	1,935	4.74	3,755	3.02
	médio	29,216	4.74	2,965	4.74	7,999	3.02
	máximo	33,343	4.74	3,995	4.74	10,690	3.02
Fluxo min. durante um evento do DFO (DNA 2011)	4,535	3.44	871	3.73	2,504	2.16	
Fluxo médio durante um evento do DFO (DNA 2011)	6,994	3.65	871	3.73	4,809	2.52	
Fluxo max. durante um evento do DFO (DNA 2011)	9,310	3.73	871	3.73	7,113	2.90	
Fluxo máximo histórico registado (DNA 2011)	18,867	4.19	3,044	4.74	16,273	3.15	

Com base nos dados de fluxo apresentados na tabela A2.1, foram calculados os fluxos de cenários de mudanças climáticas usando as projecções de mudanças de fluxo. A elevação da superfície da água dos oceanos para mudanças climáticas foi obtida do INGC (2009) para um cenário de IPCC's com pouca subida do nível do mar.

Tabela A2.2.2 Cenários de fluxos de mudanças climáticas derivados

Categoria de descarga Cenários de mudanças climáticas		Zambeze		Pungué		Limpopo	
		Fluxo [m ³ /s]	Nível das águas do mar [mASL]	Fluxo [m ³ /s]	Nível das águas do mar [mASL]	Fluxo [m ³ /s]	Nível das águas do mar [mASL]
2 anos de período de retorno	Mínimo	5,355	3.80	594	3.80	1,129	2.10
	Médio	5,964	3.80	689	3.80	1,246	2.10
	Máximo	6,573	3.80	784	3.80	1,363	2.10
20 anos de período de retorno	Mínimo	14,156	4.30	1,652	4.30	3,345	2.62
	Médio	15,818	4.30	1,768	4.30	3,782	2.62
	Máximo	17,480	4.30	1,883	4.30	4,220	2.62

A.2.3 Dados Geométricos

Foi traçada uma rotina para desenhar automaticamente secções transversais para o modelo hidráulico unidimensional. Primeiro, é calculado o eixo central do rio a partir do linhas das margens e as poli linhas são vectorizadas. Os vectores do canal que não se intersectam e são perpendiculares a direcção do fluxo estão desenhados e algoritmo A* é utilizado para obter um único e mais curto caminho através das várzeas para modelar os contornos do domínio com o constrangimento de não se interceptarem os caminhos anteriores ou as linhas das margens do canal. O resultado do exercício é apresentado na *Figura A2.2* para a parte baixa do rio Limpopo.

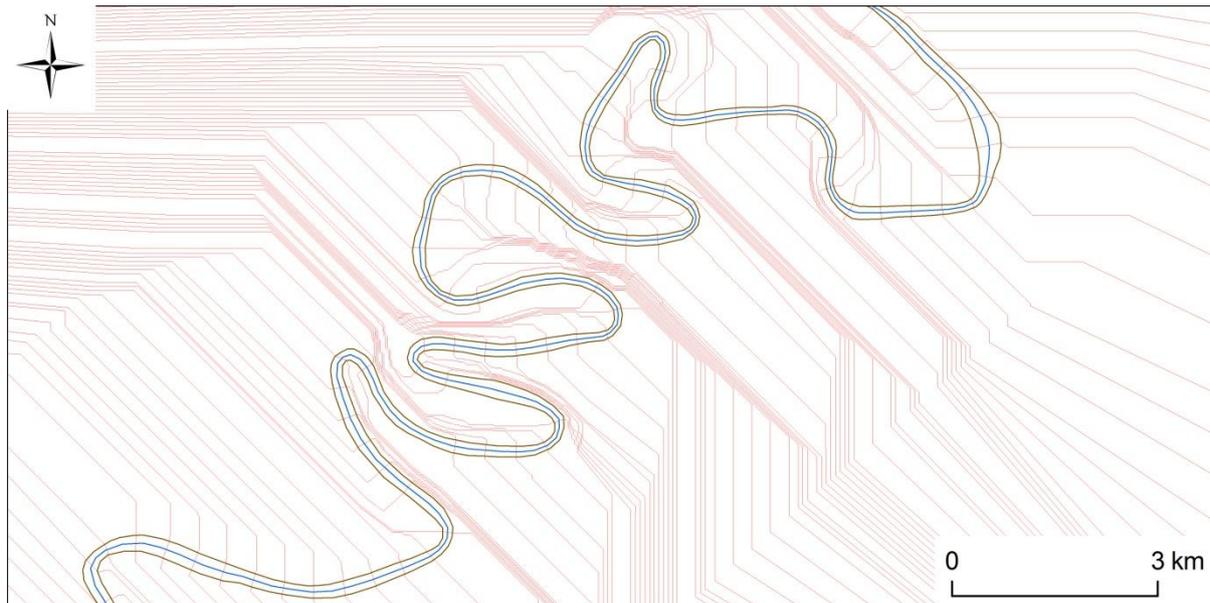


Figura A2.3.1: Linhas (vermelho) de secção transversal calculadas automaticamente com o eixo central de fluxo (azul) e linhas da margem digitadas (castanho) para a parte baixa do rio Limpopo

Após isso, foram atribuídos valores de elevação corrigidos do SRTM as linhas de secção transversal desenhadas automaticamente. Entre as linhas das margens, foram corrigidas as elevações de acordo com a equação [2.1], resultando num canal distinto. São estabelecidas áreas de fluxo não efectivo no primeiro ponto de mudança de direcção nas várzeas de tal forma que as várzeas a cota inferior não são hidraulicamente efectivas desde que as elevações da água não atinjam a altura da linha da área não efectiva. Valores de rugosidade altos, prováveis e baixos de Manning's n são atribuídos as linhas de secção transversal, enquanto entre as margens, os valores de rugosidade são calculados com base na inclinação do canal (veja *Tabela 2.1*). A secção transversal do HEC-RAS é apresentada na *Figura A2.3*. Todos os parâmetros são calculados e incorporados na estrutura do ficheiro de geometria HEC-RAS usando o ArcObjects e o Python scripting no ArcGIS.

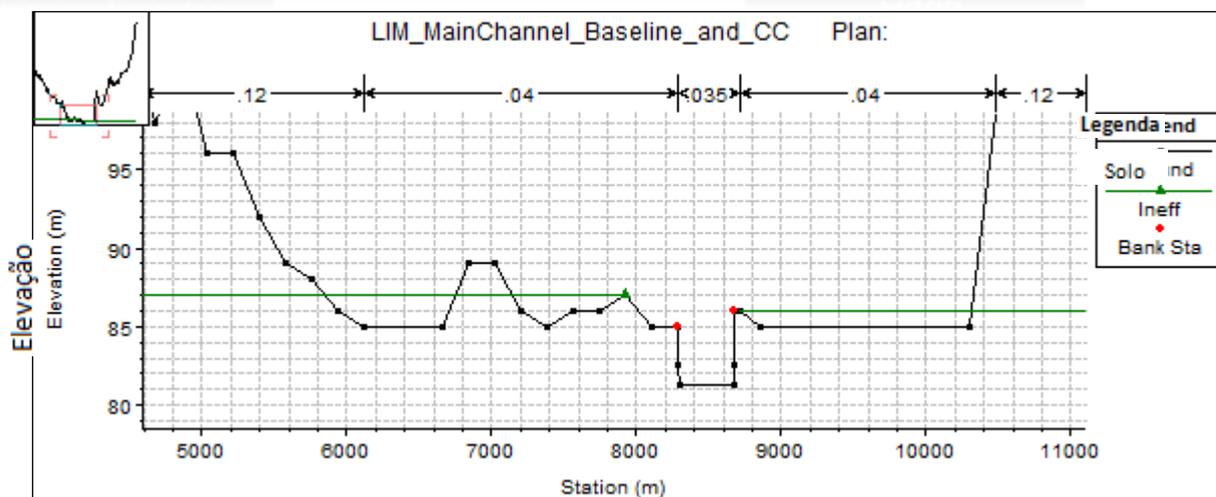


Figura A2.3.2: Exemplo de uma secção transversal do Limpopo, com os pontos das margens em vermelho, áreas de fluxos não efectivos abaixo da linha verde, superfície da terra em preto, valores de rugosidade de Manning's n para secções no topo

A.2.4 Topografia e dados de batimetria

Conforme mencionado no relatório, para a elaboração de uma avaliação de risco de cheias (FRA) detalhada é necessário dispor de dados topográficos e batimétricos de alta resolução. Tais dados não estão disponíveis de uma forma geral para Moçambique. Para a obtenção de uma base de dados batimétricos e topográficos em Moçambique, os custos aumentariam o que já foi investigado e sintetizado abaixo como custos aproximados para um local com a área de 1km² no Limpopo (Chókwè) e no Zambeze (Marromeu).

Tabela A2.4.1: Custos aproximados em US\$ para a obtenção de base de dados topográficos bem como batimétricos de alta resolução para o FRA

Dados	Topógrafo	Custos aproximados (US \$)		
		Limpopo (Chókwè)	Zambeze (Tete)	Zambeze (Marromeu)
LiDAR DEM, Ortofotos	AfricanSurveyors	54,000	--	84,100
Batimetria DEM	UnderwaterSurveys	15,200	22,500	22,300
Soma		69,200	--	106,400

Imagens satélite do Quickbird podem ser outra fonte de dados topográficos de alta resolução.

A.2.5 Requisitos de dados para uma FRA

Os dados necessários para uma FRA detalhada incluem:

- Dados topográficos de alta resolução (abaixo de 1m) para a área de estudo, dados corrigidos para falsos níveis térreos (florestas, edifícios, pontes, etc.)
- Dados batimétricos de alta resolução, em concordância com a resolução topográfica
- Dados de descarga/nível de água à montante e à jusante do local com cobertura suficiente de séries temporais
- Alternativamente, podem ser usados resultados de modelo obtidos de modelação hidráulica para estimar Alturas de água em medições de curto prazo (mínimo de 1 ano) no local de estudo. Isto resultaria em menor precisão e diminuição do nível de confiança
- Hidrográfico de cheias
- Estimativas de rugosidade para os rios e várzeas
- Informação sobre infraestruturas

A.2.6 Princípio de políticas proposto

O princípio de políticas proposta para zonas rurais e pequenas cidades em Moçambique (aplicável em ambos novos empreendimentos e mudanças nos edifícios existentes) com base no PPS25, adaptado do Governo Britânico (2010), considerando a sua praticabilidade em Moçambique.

Objectivos principais do planeamento

1. O objectivo das políticas de planeamento no desenvolvimento e risco de cheias seria o de assegurar que o risco de cheias é tomado em conta durante o planeamento ou construção de novas infraestruturas para evitar novos empreendimentos em zonas em risco de cheias, e direccionando os planos de desenvolvimento para áreas distantes das áreas de maior risco. Onde forem necessários novos empreendimentos nessas áreas, a política deve assegurar que tais empreendimentos sejam erguidos de forma segura sem aumentar o risco de cheias noutros locais e, se possível, reduzindo o risco de cheias em geral.
2. As instituições governamentais e autoridades locais devem preparar e implementar estratégias de planificação que ajudem o desenvolvimento sustentável da seguinte forma:
Avaliando antecipadamente o risco
 - Assegurando uma suficiente colecta de dados e coordenação para a sua partilha
 - Identificando as terras em risco e o grau de risco de cheias
 - Preparando Avaliação de Risco de Cheias de forma estratégica (Quadro A2.6.1) e avaliações pendentes que forneceriam informação de base para futuros desenvolvimentos em larga escala (e.g. para trechos do rio)

Quadro A2.6.1 *Avaliações Estratégicas de Risco de Cheias*

As instituições governamentais devem elaborar avaliações estratégicas de risco de cheias para aferir o risco de cheias para trechos longos dos rios. Elas seriam responsáveis pela respectiva colecta de dados, em consonância com as avaliações estratégicas de risco de cheias. Os mapas de risco de cheias resultantes seriam o instrumento de base para se julgar se uma determinada área é ou não propensa a cheias. Devem ser tomadas em conta as mudanças climáticas e modelados os períodos de retorno de 10, 100 e 1000 anos.

A avaliação estratégica do risco de cheias forma a base o devido estabelecimento de políticas de gestão de cheias e gestão de risco de cheias. Para áreas indicadas como estando em risco de cheias, deveriam impor restrições que foram abordadas pelas avaliações específicas de risco de cheias, pelos testes sequenciais e pelos testes de excepção tendo em conta os aspectos de vulnerabilidade a cheias.

Gestão de risco

- Elaboração de políticas que evitam o risco de cheias para as populações e propriedades no local proposto, e gestão de possíveis riscos residuais, considerando os impactos das mudanças climáticas
- Apenas permitindo o desenvolvimento em áreas de risco de cheias quando não existam outros locais disponíveis em zonas de menor risco de cheias e que os benefícios de tal desenvolvimento são maiores que o risco de cheias
- Assegurando políticas de implementação
- Salvaguardando a terra necessária para a gestão de cheias no presente e no futuro e.g. transporte e armazenamento da água das cheias e defesas contra cheias

Cooperação

- Cooperando com as autoridades e outras partes interessadas garantindo que se faça o melhor uso da sua experiência e conhecimento de tal forma que os planos sejam efectivos e as decisões possam ser tomadas de forma expedita
- Assegurando que o planeamento espacial apoie as políticas de gestão de risco de cheias, planos de gestão das bacias hidrográficas e planos de emergência

Princípios de tomada de decisão

3. Na preparação dos planos estratégicos, as instituições governamentais e autoridades locais devem aderir aos seguintes princípios:
 - As instituições governamentais devem garantir que as suas estratégias espaciais incluam uma extensiva consideração ao risco de cheias de todas as fontes e estabelecer uma estratégia para a sua gestão. Isto devera ser feito de acordo com as Avaliações Estratégicas de Risco de Cheias
 - As autoridades locais devem preparar Planos de Desenvolvimento Locais que estabeleçam políticas para a atribuição de terra e métodos para a sua exploração para evitar o risco de cheias para as pessoas e bens a medida do possível e/ou geri-las noutros locais e
 - Onde se prevê o aumento do risco de cheias devido as mudanças climáticas de tal forma que alguns empreendimentos existentes não serão sustentáveis a longo termo, as autoridades locais devem ponderar se existe a possibilidade de, na elaboração dos planos de desenvolvimento locais, incluir planos de reassentamento para outros locais mais sustentáveis com menor risco de cheias
 - O risco de cheias deve ser considerado para todos os planos espaciais tais como de transportes, edificações, negócios, industria, mineração, agricultura, pescas e outras áreas que possam ser afectados (pelas cheias) ou possam ter o seu efeito sobre as cheias (e.g. actividades que promovam o escoamento superficial). As políticas devem reconhecer a contribuição positiva que a prevenção e gestão de risco de cheias podem ter para o desenvolvimento sustentável das comunidades
 - A avaliação da sustentabilidade dos planos locais de desenvolvimento deve incluir ou reflectir os resultados das Avaliações Estratégicas de Risco de Cheias
4. Para além disso, as autoridades locais na sua elaboração dos planos de desenvolvimento devem:
 - Garantir que a construção e mudanças de uso da terra sejam feitas com base na devida aplicação que é apoiada por avaliações de risco de cheias para locais específicos conforme o caso
 - Aplicação da abordagem sequencial a nível local para minimizar o risco direccionando os empreendimentos mais vulneráveis para áreas de menor risco de cheias, fazendo uma combinação entre a vulnerabilidade do uso da terra com o risco de cheias

- Garantir que todos novos empreendimentos nas zonas de risco de cheias são devidamente resistentes a cheias, incluindo a sua estabilidade estrutural e acesso seguro e rotas de escape onde for necessário, e que qualquer risco residual seja seguramente gerido pela consciencialização, gestão de cheias e planos de emergência

Abordagem baseada no risco

5. A todos os níveis de planeamento deve ser adoptada uma abordagem baseada no risco. A aplicação do modelo fonte-caminho-receptor para o planos de desenvolvimento em áreas de risco de cheias requer:
 - Evitar adicionar as causas do risco de cheias, evitando desenvolvimentos desenquadrados em áreas com risco de cheias, evitar a redução das várzeas e minimizando o escoamento superficial de novos empreendimentos para os rios
 - Reduzindo as consequências adversas das cheias nas populações, propriedades, infraestruturas evitando desenvolvimentos desenquadrados nas áreas em risco de cheias.

Avaliações do risco de cheias

6. Uma Avaliação Estratégica do Risco de Cheias deve ser elaborada pelo governo em cooperação com as autoridades locais para facilitar a preparação dos planos de desenvolvimento locais, considerando a ocorrência de cheias na bacia incluindo os efeitos a jusante. Uma escala maior de avaliação deve produzir zonas de risco de cheias com diferentes probabilidades (e.g. para eventos de 10, 100 e 1000 anos)
7. Nos planos de desenvolvimento local as políticas devem incluir as necessidades das avaliações de risco de cheias para locais específicos (Quadro A2.6.2) a serem executadas pelos investidores em áreas de risco de cheias identificadas na Avaliação Estratégica de Risco de Cheias e no Plano de Desenvolvimento Local

Quadro A2.6.2 Avaliações de risco de cheias para locais específicos

Estas devem ser elaboradas para áreas de investimento propostas que estejam dentro das áreas indicadas como em risco de cheias nos mapas da Avaliação Estratégica de Cheias. As avaliações de locais específicos recolhem a informação fornecida nos SFRA's mas refinam o modelo para o local em questão, produzindo resultados mais detalhados. Com base nos resultados do FRA o Teste Sequencial e o Teste de Excepção podem ser aplicados.

Na fase de planeamento de empreendimentos com risco de cheias nos mapas SFRA, será necessária uma FRA adequada demonstrando como sero geridos, (no presente e tendo em conta as mudanças climáticas) os riscos de cheias de todas as fontes de cheias. As autoridades locais podem exigir que as FRAs sejam submetidas com os planos de desenvolvimento nas áreas de risco de cheias identificadas no SFRA.

8. A Avaliação de Risco de Cheias para um local específico deve ser a um nível apropriado durante a fase de planeamento, para avaliar os riscos de cheias no ou a partir do empreendimento tomando em conta as mudanças climáticas.
9. Os requisitos mínimos para todos os níveis de avaliação de risco de cheias são indicados na Quadro A2.6.3.

Quadro A2.6.3 Requisitos para a Avaliação do Risco de Cheias

Os requisitos mínimos para a avaliação do risco de cheias são:

- Serem proporcionais ao risco e a escala apropriada, a natureza e localização do empreendimento
- Considerem o risco de cheias resultante do empreendimento para além do risco de cheias do próprio empreendimento
- Tomem em conta os impactos das mudanças climáticas
- Sejam elaboradas por pessoas competentes na matéria
- Considerem ambos potenciais efeitos benéficos e adversos de infraestruturas de gestão de risco de cheias incluindo defensas, canais de escoamento, ares de armazenamento de cheias e outras áreas obras artificiais conjuntamente com as consequências do seu desabamento
- considerem a vulnerabilidade daqueles que podem ocupar e usar o local, tomando em conta os Testes Sequenciais e de Excepção e a classificação de vulnerabilidade incluindo arranjos para acesso seguro
- considerem e quantifiquem os diferentes tipos de cheias se originadas por fontes naturais ou humanas e incluindo efeitos cumulativos
- identifiquem medidas de redução de risco de cheias
- garantam que as avaliações estão prontas para a execução para efeitos de tomada de decisão
- considerem os efeitos duma série de eventos de cheias incluindo eventos extremos para as populações, bens e meio ambiente
- incluam a avaliação dos restantes riscos residuais após terem sido tomadas em conta medidas de redução de risco e demonstrar que isto é aceitável para o local em particular ou uso da terra
- serem acompanhados de dados informativos incluindo informação histórica de eventos anteriores

A Abordagem Sequencial

10. É importante ter-se uma abordagem sequencial baseada no risco para determinar se uma determinada terra é apropriada para os planos de desenvolvimento propostos em áreas de risco de cheias. Esta é parte integrante da gestão de risco de cheias e deve ser aplicada
11. As instituições governamentais e autoridades locais devem aplicar a abordagem sequencial na atribuição de terras nas zonas em risco de cheias.

O Teste Sequencial

12. As autoridades de planificação que atribuem terras em zonas potencialmente susceptíveis a cheias (conforme indicado na Avaliação Estratégica de Risco de Cheias) devem aplicar o Teste Sequencial (Quadro A2.6.4) para demonstrar que não existem outros locais razoáveis e disponíveis nas áreas circundantes com menor probabilidade de cheias que seria apropriado para o tipo de empreendimento ou uso da terra proposto

Quadro A2.6.4 Teste Sequencial

O teste sequencial baseado no risco destina-se a direccionar novos empreendimentos para áreas com a menor probabilidade de cheias (Zona). As zonas de cheias são o ponto de partida na abordagem sequencial. As zonas de cheias 1,2 e 3 são representadas nos mapas de cheias do SFRA. Nenhum risco de cheias foi classificado como zona 0.

As Zonas 1, 2 e 3 reflectem períodos de retorno de 10, 100 e 1000 anos respectivamente. Zonas de cheias nos mapas do SFRA devem referir-se apenas as probabilidades de cheia, ignorando a presença de defesas existentes enquanto que o FRA's considera as defesas.

O SFRA's providencia as bases para a aplicação do Teste Sequencial, com base nas zonas abaixo

descritas. Onde as descrições indicam a necessidade de aplicação do Teste de Excepção, o escopo do FRA vai considerar o impacto da infraestrutura de gestão de cheias tendo em conta o impacto, velocidade de propagação, profundidade e velocidade de fluxo dentro da zona de cheias tendo em vista os vários cenários de gestão de risco de cheias e de manutenção.

O objectivo principal dos órgãos de tomada de decisão deve ser o de direccionar novos investimentos para a Zona de cheias 0. Estes órgãos podem identificar locais para o desenvolvimento de infraestruturas em zonas de cheia tendo em conta as vulnerabilidades dos usuários da terra, aplicando o Teste de Excepção se necessário.

Dentro de cada zona de cheias, os novos empreendimentos devem primeiro direccionados para locais com menor probabilidades de cheias e a vulnerabilidade dos usuários da terra deve ser cruzada com o risco de cheias do local i.e. usos de terra de alta vulnerabilidade localizada em partes da zona com a menor probabilidade de cheias.

Tabela A: Zonas de cheias

(Note: Estas zonas de cheias referem-se a probabilidade de cheias, ignorando a presença de defesas)

Zona 0 Baixa Probabilidade

Esta zona inclui terras avaliadas como tendo probabilidades de cheias num ano (<0.1%).

Usos apropriados incluem todos usos da terra

Não são necessárias FRA's para esta área

Zona 1 Probabilidade Média

Esta inclui terras avaliadas como tendo uma probabilidade anual de cheias de 1 em 100 e 1 em 1000 (1% – 0.1%).

Usos da terra apropriados incluem compatibilidade de água, usos mais e menos vulneráveis e infraestruturas essenciais estão representados na Tabela B sujeitos a aplicação do Teste Sequencial. Os usos altamente vulneráveis na Tabela B são apenas apropriados nesta zona se passar o Teste de Excepção.

Os requisitos do FRA aplicam-se na totalidade para esta zona

Zona 2 Alta Probabilidade

Esta zona inclui terras avaliadas como tendo uma probabilidade anual de ocorrência de cheias igual ou maior que 1 em 100 (>1%)

Usos apropriados incluem compatibilidade de água e usos menos vulneráveis estão indicados na tabela B. Os usos altamente vulneráveis na Tabela B não devem ser permitidos nesta zona. Os usos mais vulneráveis e de infraestruturas da Tabela B apenas podem ser permitidos nesta zona se o Teste de Excepção for feito com sucesso. As infraestruturas essenciais permitidas nesta zona devem ser projectadas e construídas para se manterem operacionais e seguras para os utentes em períodos de cheias.

Zone 3 Várzea Funcional

Esta zona inclui terra por onde a água deve se escoar ou ser armazenada em tempos de cheias com período de retorno de 1:10 anos. As autoridades devem identificar nas suas áreas SFRA's da várzea e seus contornos devidamente

Usos apropriados estão restritos a compatibilidade de água e infraestruturas essenciais listadas na Tabela B. As estruturas devem ser projectadas e construídas de modo a:

- que se mantenham operacionais e seguras para os utentes em tempos de cheias
- não resultem em perda de capacidade de armazenamento da várzea
- não impedir o fluxo de água
- não aumentar o risco de cheias noutros locais

As infraestruturas essenciais nesta zona devem passar o Teste de Excepção.

Os requisitos de FRA aplicam-se totalmente nesta zona.

Tabela B: Classificação de Risco de Vulnerabilidade

Infraestruturas Essenciais	<ul style="list-style-type: none"> – Infraestruturas de transporte (incluindo rotas de evacuação em massa) que devem atravessar a área em risco – Infraestruturas essenciais que devem se localizar nas áreas de risco de cheias
Altamente vulneráveis	<ul style="list-style-type: none"> – Esquadras da policia, hospitais, bombeiros, centros de comando e instalações de telecomunicações que devem estar operacionais durante as cheias – Pontos de dispersão de emergência – Caves – Instalações de armazenamento de produtos
Mais vulneráveis	<ul style="list-style-type: none"> – Hospitais – Residências, casas para o abrigo de crianças , casas de serviços sociais, cadeias e centro de acolhimento – Edifícios usados para: residências; lares de estudantes; restaurantes e hotéis – Serviços de saúde sem internamento, creches e estabelecimentos educacionais. – Aterros sanitários e locais de tratamento de resíduos sólidos
Menos vulneráveis	<ul style="list-style-type: none"> – Esquadras de policia, ambulâncias e estações de bombeiros que nao necessitam de estar operacionais durante as cheias – Edifícios usados para o comércio, negócios, indústrias e armazéns – Terra e edifícios usados na agricultura e florestas . – Tratamento de resíduos sólidos (exceptuando aterros sanitários e instalações de tratamento de produtos perigosos). – Processamento de minerais (excepto para areias e pedras). – Estações de tratamento de águas que não precisam de se manter operacionais durante as cheias. – Estações de tratamento de águas residuais (se forem implementadas medidas adequadas de controle de poluição e gestão de águas residuais durante as cheias)
Desenvolvimento de compatibilidade de água	<ul style="list-style-type: none"> – Infraestruturas de controlo de cheias – Infraestruturas de transporte de águas e esgotos e estações de bombagem – Manuseamento de areias e pedras – Docas, marinas e infraestruturas de navegação.

13. Em áreas com risco de cheias, os empreendimentos devem ser restringidos. Se o empreendimento for necessário, devem ser tomados em conta os aspectos de vulnerabilidade as cheias .

O Teste de Excepção

14. Se após a aplicação do Teste Sequencial na Quadro A2.6.4, não for possível localizar um empreendimento em zonas de fraca probabilidade de ocorrência de cheias, o Teste de Excepção pode ser aplicado conforme descrito na Quadro A2.6.5. O teste providencia um método de gestão do risco de cheias e ao mesmo tempo permite a implementação do empreendimento.

Quadro A.2.6.5: Teste de Excepção

Para passar o teste de excepção será necessário:

- Demonstrar que o empreendimento proposto traz de uma forma sustentável, benefícios para a comunidade e que tais benefícios sejam maiores que o risco de cheias obtido do SFRA
- O empreendimento deve se situar dentro de uma área desenvolvida ou se não estiver previamente desenvolvida, que não haja alternativas razoáveis para outros locais com desenvolvimento estabelecido.
- Uma FRA deve demonstrar que o empreendimento é seguro, sem aumentar o risco de cheias noutros locais e, na medida do possível reduzirá o risco de cheias.

O Teste de Excepção deve ser feito pelos órgãos de tomada de decisão apenas após a aplicação do Teste Sequencial e nas circunstâncias indicadas na Tabela A quando desenvolvimentos “mais vulneráveis” e “Infraestruturas Essenciais” não podem ser localizadas Zonas 0 ou 1 e um empreendimento “Altamente vulnerável” não pode ser localizado na Zona 0. Isto não deve ser usado para justificar um empreendimento “Altamente vulnerável” na Zona de cheias 2, ou “Menos vulnerável”, “mais vulnerável” na Zona de cheias 3.

Responsabilidades

17. As responsabilidades devem estar claras de modo a definir quem é responsável pela recolha de dados, tratamento de dados e pela elaboração das Avaliações Estratégicas de Risco de Cheias e Avaliações Locais de Risco de Cheias. Para além disso, é necessário clarificar-se quem é responsável aprovar ou rejeitar o empreendimento com base no FRA e a população deve ser informada sobre os seus direitos e responsabilidades.

O Investidor

18. Os proprietários de terra têm a responsabilidade principal de salvaguardar a sua terra e propriedades contra perigos naturais como as cheias. Fazendo isso, os proprietários individuais de terra e utentes são responsáveis pela gestão da sua terra de tal forma que se evitem tanto quanto possível, impactos adversos nas terras circundantes. O investidor/proprietário é responsável por:
 - Provar que o investimento proposto está de acordo com as políticas governamentais e locais
 - Apresentar uma FRA demonstrando:
 - Se o empreendimento proposto é susceptível de ser afectado pelas presentes ou futuras cheias
 - Convencendo as Autoridades Locais de que o empreendimento é seguro e onde for possível diminui o risco de cheias no geral
 - Se o empreendimento proposto irá aumentar o risco de cheias noutros locais
 - Se o investidor/proprietário não puder provar suficientemente que o seu empreendimento é seguro, deverão ser impostas restrições de acordo com a Avaliação Estratégica do Risco de Cheias feita pelo governo.
 - Se o investimento for planeado para dentro de zonas de risco de cheias, o investidor/proprietário terá que demonstrar medidas suficientes de resistência contra cheias e.g. restrições no uso e/ou construção resistente a cheias de acordo com as imposições governamentais(Quadro A2.6.1).

A Administração Governamental

19. O Governo deve ser responsável pelas Avaliações Estratégicas de Risco de Cheias e pela colecta de dados assim como pelo seu fornecimento a nível regional. Deve tomar em conta

aspectos de risco de cheias e actividades a si associadas e cooperar com as administrações locais para a recolha de dados, elaboração de políticas e sua implementação.

A Administração Local

20. Esta deve coordenar com a Administração governamental para a recolha de dados e sua partilha. Devem ser responsáveis pela implementação de políticas de gestão de risco de cheias a nível local e reforçar a aderência a tais políticas. Actuando desta forma, a Administração local é responsável por aceitar e verificar propostas de investimentos e aprova-los ou rejeita-los.

Monitoria e revisão

21. É importante uma monitoria efectiva para reduzir e gerir o risco de cheias. As administrações locais em coordenação com as instituições governamentais necessitam de monitorar o desenvolvimento e actualizar as Avaliações de Risco de Cheias por forma a adaptarem-se a mudanças e considerando as mudanças ocorridas bem como os seus efeitos. Para além disso as instituições necessitariam de partilhar responsabilidades para a manutenção e operação das estações de monitoria e recolha de dados.

A 3.1: Questionários utilizados para as entrevistas aos moradores durante o estudo de campo

Estudo de campo nos bairros Mavalane A e Maxaquene A

Questionário para entrevistas com moradores dos bairros de Mavalane A e Maxaquene A

Endereço:
Parte 1: Enchentes Urbanas
Pergunta 1: Com que frequência se registam enchentes no seu bairro?
Pergunta 2: A que altura o nível de água chega normalmente e quanto tempo a enchente dura normalmente?
Pergunta 3: Em que ano ocorreu a pior enchente que tenha presenciado neste bairro? Qual foi a altura da água? Quanto tempo a enchente durou?
Pergunta 4: Na sua opinião qual é a principal razão para a ocorrência de enchentes no seu bairro?
Pergunta 5: Que medidas ajudariam a evitar as enchentes ou gerar um escoamento mais rápido da água das chuvas do seu bairro?
Pergunta 6: Está informado sobre as obras de construção em curso no seu bairro para melhorar a situação de drenagem da água das chuvas? (i.e. construção de novos canais)
Pergunta 7: Acha que a construção de novos drenos vai ajudar a resolver os problemas de enchentes? Se não: Por quê?
Pergunta 8: Acha que existe algum espaço no seu bairro no qual se poderia armazenar a água das chuvas (i.e. uma bacia de retenção) para depois ser libertada para o mar depois das chuvas?
Tem outras sugestões sobre uma forma de resolução do problema de enchentes urbanas?
Parte 2 – Gestão Integrada de Águas Urbanas
Pergunta 9: Onde / como recebe a sua água potável? Ligação domiciliar a rede pública? Fontanário público? Poço público? Poço privado (se for outro, por favor especifique)?

Pergunta 10: Qual é a fiabilidade do seu abastecimento de água? 24h por dia? Algumas horas por dia? Alguns dias por semana? Por favor descreva:

Pergunta 11: A falta de água potável as vezes constitui um problema no seu bairro?

Pergunta 12: O que acontece as águas residuais produzidas no seu agregado? A remoção destas águas da sua casa/quintal constitui um problema?

Pergunta 13: As águas residuais das casas de banho (águas negras) são separadas das restantes (águas brancas)?

Pergunta 14: As águas residuais causam problemas higiénicos no seu bairro?

Pergunta 15: Faz a captura de água da chuva na sua casa/quintal?

Se sim:

- Como captura?
- Qual é a quantidade capturada? (descreva por favor)
- Como utiliza a água da chuva capturada?

Se não:

- Por que não?
- Conhece alguém no bairro que capture água da chuva para uso posterior?
- Julga que a captura de água da chuva traria algum benefício para si e para a sua família? Que benefício?
- Do que você precisaria para começar a capturar e utilizar a água da chuva?

Pergunta 16: Como é organizada a recolha de resíduos sólidos no seu bairro?

- Onde é que se recolhe o lixo?
- Com que frequência e por quem o lixo é recolhido?

Pergunta 17: A recolha/remoção de resíduos sólidos funciona devidamente? Se não: que problemas existem e como estes poderiam ser resolvidos?

A 4.1: Quadro Lógico

	Indicadores Objectivamente Verificáveis	Origem da Fonte	Riscos => Medidas
Objectivos Gerais: <ul style="list-style-type: none"> Aumentar a resiliência dos agricultores ao CC 	<ul style="list-style-type: none"> Rendimento da colheita e cronologia da precipitação 	<ul style="list-style-type: none"> Estatísticas oficiais Anuários agrícolas 	<ul style="list-style-type: none"> Previsões do CC não muito claras, especialmente a precipitação => variável do GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA sem o CC
Objectivo Especifico: <ul style="list-style-type: none"> Aumentar a produtividade da quinta, especialmente nos anos de seca 	<ul style="list-style-type: none"> Margens da quinta com e sem o GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA 	<ul style="list-style-type: none"> Pesquisas em machambas Relatórios de avaliação do projecto 	<ul style="list-style-type: none"> Variáveis do GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA com padrões de precipitação => analise comparativa para partilha de experiencia entre agricultores Os riscos são mais altos em regiões isoladas => incentivos para fornecedores divulgarem actividades piloto para novas áreas
Resultados: <ul style="list-style-type: none"> Uso de técnicas do GESTÃO DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA nas machambas 	<ul style="list-style-type: none"> Numero de machambas que adoptam as novas técnicas Anos de técnicas usadas machambas replicadas 	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios de monitorização do projecto 	<ul style="list-style-type: none"> Sem soluções padrão porque cada quinta tem características diferentes => o projecto vai trabalhar com um menu de opções
Dados e actividades: <ul style="list-style-type: none"> Aconselhamento e formação Pilotos e maquetas Contractos com fornecedores privados Incentivos para agricultores e fornecedores 	<ul style="list-style-type: none"> Despesas em actividades 	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios de monitorização do projecto 	<ul style="list-style-type: none"> Competição entre os agentes de concretização => verificações e equilíbrios com diferentes opções para a concretização

A 4.2: Custos de Formação

Centro de Formação para Agricultores de campo		Nº de Sessões por Época 10			
	Nº de Agricultores	Nº de Pessoal	Custo Unitário	Custo por Sessão	Custo por Época
Materiais de formação	25		\$1	\$25	\$250
Incentivos aos agricultores	25		\$2	\$50	\$500
Aluguer do local de formação			\$10	\$10	\$100
Despesas com pessoal de extensão		1	\$25	\$25	\$250
Despesas com pessoal técnico		0.5	\$60	\$30	\$300
Preparação de relatórios		1	\$10	\$10	\$100
TOTAL				\$150	\$1,500

Formação de Activistas de Campo		Nº de dias para a Época 6			
	Nº de Pessoal do Distrito	Nº de Formadores	Custo Unitário	Custo diário	Custo por época
Materiais de formação	15		\$20	\$300	\$1,800
Actividades de campo do DSA	15		\$40	\$600	\$3,600
Aluguer do local de formação por dia			\$75	\$75	\$450
Despesas com pessoal técnico		2	\$60	\$120	\$720
Preparação de relatórios		2	\$40	\$80	\$480
TOTAL				\$1,175	\$7,050

Formação de Engenheiros de Campo		Nº de dias por Época 4			
	Nº de pessoal do distrito	Nº de Formadores	Custo Unitário	Custo por dia	Custo por Época
Materiais de formação	6		\$25	\$150	\$600
Pessoal técnico do DSA	6		\$60	\$360	\$1,440
Aluguer do local de formação por dia			\$75	\$75	\$300
Formadores Sénior do DSA		2	\$100	\$200	\$800
Preparação de relatórios		2	\$40	\$80	\$320
TOTAL				\$865	\$3,460

Seminário Nacional		Nº de dias por Época 1			
	No of Participants	No Resourc Pers.	Unit Cost	Cost per Day	Cost per Season
Materiais	40		\$5	\$200	\$200
Participantes do DSA	40		\$40	\$1,600	\$1,600
Aluguer do local de formação por dia			\$150	\$150	\$150
Despesas com Pessoal de Apoio		4	\$100	\$400	\$400
Preparação de relatórios		2	\$40	\$80	\$80
TOTAL				\$2,430	\$2,430

Seminário de Informação do Sector Privado

Nº de dias por Época

1

	Nº de participantes	Nº de Pessoal de Apoio	Custo Unitário	Custo por dia	Custo por Época
Materiais	20		\$5	\$100	\$100
Participantes do DSA	20		\$100	\$2,000	\$2,000
Aluguer do local de formação por dia			\$150	\$150	\$150
Despesas com pessoal de apoio		4	\$100	\$400	\$400
Preparação de relatórios		2	\$40	\$80	\$80
TOTAL				\$2,730	\$2,730

Workshops de Consultas por cada Pólo

Nº de dias por Época

1

	Nº de Participantes	Nº de pessoal de apoio	Custo Unitário	Custo por dia	Custo por Época
Materiais	25		\$5	\$125	\$125
Participantes do DSA	25		\$5	\$125	\$125
Aluguer do local de formação por dia			\$75	\$75	\$75
Despesas com pessoal de apoio		2	\$60	\$120	\$120
Preparação de relatórios		1	\$40	\$40	\$40
TOTAL				\$485	\$485