



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

CURSO DE METEOROLOGIA

TEMA:

**“APLICAÇÃO DO MODELO DE APOIO A DECISÃO NA BACIA DO ZAMBEZE NA
ANÁLISE DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO”**

Autora: Sheila Orquídia Tinga

Supervisor: Doutor António Queface

Co-supervisor: Dr. Luís Buchir

Maputo, Janeiro de 2013

Declaração de honra

Declaro pela minha honra que o presente trabalho é inteiramente da minha autoria e nunca foi anteriormente apresentado para avaliação. Os resultados decorrem da análise da informação obtida ao longo da investigação e as fontes se encontram claramente mencionadas.

(Sheila Orquídia Tinga)

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família em geral, particularmente a minha mãe, as minhas tias e ao meu namorado. Pela simpatia, amizade, apoio e paciência que sempre tiveram e demonstraram em todos os momentos da minha vida pessoal e acadêmica em que mais precisei de auxílio.

Agradecimentos

O desenvolvimento desta pesquisa, só foi possível com a colaboração preciosa e incansável de pessoas que se tornaram parte da minha vida. Por isso, é com muito orgulho que quero agradecer:

- A minha mãe (Sónia Paula Tinga), as minhas tias (Estela, Hawa e Mirza), aos meus primos (Nanda, Zay, Clausio, Nacito, Miryamo, Edy) e ao meu namorado (Jorge Domingos Macuácuá), por acreditarem em mim, pela força e pelo amor dedicado por todos esses anos.
- Ao meu supervisor Doutor. António Queface e ao meu co-supervisor Dr. Luís Buchir, que apesar dos seus compromissos profissionais e académicos mostraram-se sempre dispostos e disponíveis a orientar o presente trabalho com coerência.
- Aos docentes do departamento de física da UEM que tiveram uma influência não somente educativa como também motiva para o gosto pela área de meteorologia como disciplina académica.
- Aos Técnicos Superiores de Meteorologia do INAM pelo apoio material e académico.
- Aos Técnicos do DCRN da Direcção Nacional de Gestão Ambiental (DNGA) do Ministério para Coordenação da Acção Ambiental (MICOA).
- Aos meus colegas (Julieta Mahumane, Fátima Manguela e Genneth Roque), amigos, e a todos aqueles que directa ou indirectamente, contribuíram para a minha formação académica.

A todos, o meu muito obrigado!

*Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um
novo fim.*

Chico Xavier

Lista de Siglas

APRCDBZ - Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Baía do Zambeze

CRU - Climate Research Unit (Unidade de Investigação Climática)

DCRN - Departamento de Conservação de Recursos Naturais

DNGA - Direcção Nacional de Gestão Ambiental

GCM - *General Circulation Models* (Modelos de Circulação Geral)

GEE - Gases com Efeito de Estufa

GPCC - *Global Precipitation Climatology Centre* (Centro Global de Climatologia de Precipitação)

INAM - Instituto Nacional de Meteorologia

INGC - Instituto Nacional de Gestão de Calamidades

IPCC - *International Panel of Climate Change* (Painel Internacional para Mudanças Climáticas)

MBH - Modelo de Bacia Hidrográfica

MICOA - Ministério para a Coordenação da acção Ambiental

ONU - Organização das Nações Unidas

RCM - *Regional Circulation Models* (Modelos Regionais)

SAD - Sistema de Apoio a Decisão

SADC - *Southern African Development Community* (Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral)

SIG - Sistema de Informação Geográfica

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

UEM - Universidade Eduardo Mondlane

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ZDSS - *Zambezi Decision Support System* (Sistema de Apoio a Decisão para Bacia do Zambeze)

Lista de Abreviaturas

Abr - Abril

Ago - Agosto

Dez - Dezembro

E - Este

Fev - Fevereiro

Jan - Janeiro

Jul - Julho

Jun - Junho

Mai - Maio

Mar - Março

min - Minuto

Nov - Novembro

Out - Outubro

S - Sul

Set - Setembro

Lista de Símbolos

°C - Graus Célsius

CO₂ - Dióxido de Carbono

ha - Hectares

Km - Quilómetro

km² - Quilómetro Quadrado

mm - Milímetro

° - Grau

% - Percentagem

/ - ou

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa de Localização Geográfica da Bacia do Zambeze em Moçambiqueí ..4

Figura 2 - Variação temporal da Precipitação Total Anual com Base nas Observaçõesí .18

Figura 3 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Cahora Bassa (1960 - 2009)í 19

Figura 4 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Tete (1960 - 2009)í19

Figura 5 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Mutarara (1960 - 2009)í ...20

Figura 6 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia Delta (1960 - 2009)í ...20

Figura 7 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Cahora Bassa (2010 -2100)í ..21

Figura 8 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Tete (2010 -2100)í ...22

Figura 9 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Mutarara (2010 -2100)í 22

Figura 10 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia Delta (2010 - 2100)í 23

Figura 11 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Cahora Bassa (1960 -2009)í ..24

Figura 12 - Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Cahora Bassa (1960 ó 2009)í í í í í í í í í í í í í í í í í í ..24

Figura 13 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Tete (1960 -2009)í ...25

Figura 14 - Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Tete (1960 ó 2009)í .25

Figura 15 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Mutarara (1960 -2009)í 25

Figura 16 - Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Mutarara (1960 ó 2009)í .25

Figura 17 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia Delta (1960 - 2009)í 26

Figura 18 - Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia Delta (1960 ó 2009)í 26

Figura 19 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Cahora Bassa (2010 - 2100)í .27

Figura 20 ó Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Cahora Bassa (2010 ó 2100)í ..27

Figura 21 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Tete (2010 - 2100)í ..28

Figura 22 ó Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Tete (2010 ó 2100)í .28

Figura 23 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Mutarara (2010 - 2100)í ...28

Figura 24 ó Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Mutarara (2010 ó 2100)í .28

Figura 25 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia Delta (2010 - 2100)í 29

Figura 26 ó Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia Delta (2010 - 2100)í .29

Lista de Apêndices

Apêndice I - Guião para uso do ZDSS í ...37

Apêndice II ó Representação e descrição das Sub-bacia da bacia hidrográfica do Zambezeí ...40

Apêndice III - Ocorrência dos fenómenos La Niña e El Nino em diferentes épocas do Ano.í .41

Apêndice IV ó Precipitação total anual - séries observadas e geradas (1960-2009)í ..42

Apêndice V ó precipitação total anual ó séries geradas (2010-2100)í í í í í í í í .46

Apêndice VI ó Totais mensais e sazonais de precipitação no período histórico (1960-2009)í 50

Apêndice VII ó Totais mensais e sazonais de precipitação no período futuro (2010-2100í .52

Resumo

A gestão sustentável de recursos hídricos tem sido um dos maiores desafios do século XXI, principalmente, devido aos impactos negativos cada vez mais frequentes dos eventos extremos, resultantes das alterações climáticas. No entanto, tendo em vista o problema das alterações climáticas aliados ao aumento de complexidade na gestão de recursos hídricos, fica clara a importância de se desenvolver ferramentas que possam, auxiliar no processo de avaliação dos impactos das alterações climáticas. Os Sistemas de Apoio a Decisão (SAD) são ferramentas que podem ser usadas pelos gestores de recursos hídricos para tornar os elementos básicos do processo de decisão mais explícitos (Mattei, 2005). Assim sendo, o presente trabalho tem como objectivo principal demonstrar a aplicação da ferramenta ZDSS, especialmente desenhada para a bacia do Zambeze, na análise da variabilidade da precipitação em quatro sub-bacia da bacia do Zambeze. Para tal, foram definidos como objectivos específicos, (i) demonstrar o funcionamento do ZDSS; (ii) demonstrar a importância do ZDSS na avaliação do impacto das mudanças climáticas; (iii) Analisar a tendência anual da precipitação na bacia do Zambeze, utilizando os modelos climáticos inseridos no ZDSS; e (iv) analisar a tendência sazonal da precipitação na bacia do Zambeze, utilizando os modelos climáticos inseridos no ZDSS. A pesquisa baseou-se essencialmente na análise exploratória de dados, tomando como base as evidências climáticas observadas e projectas para o futuro, de acordo com os cenários gerados pelos modelos climáticos inseridos no ZDSS. Os resultados mostraram não haver tendências significativas da precipitação tanto de aumento, como de diminuição nos dois períodos em análise, isto é, histórico e futuro. Contudo, na análise sazonal verificou-se uma sazonalidade bem definida em todos os períodos, notando-se um inverno mais seco e prolongado e um verão mais chuvoso e curto, isto é, poucos meses chuvosos e mais meses secos.

Palavras-chave: ZDSS, Variabilidade da Precipitação, Tendências Anual e Sazonal da Precipitação

Índice

Declaração de honra.....	i
<i>Dedicatória</i>	ii
<i>Agradecimentos</i>	iii
<i>Lista de Siglas</i>	v
<i>Lista de Abreviaturas</i>	vi
Abr - Abril	vi
<i>Lista de Símbolos</i>	vii
<i>Lista de Figuras</i>	viii
Lista de Apêndices.....	x
Resumo.....	xi

CAPITULO I

1.1 Introdução.....	1
1.2 Objectivos.....	2
1.2.1 Objectivo Geral	2
1.2.2 Objectivos Específicos.....	2
1.3 Justificação do Problema	2
1.4 Aplicação do Estudo.....	2
1.5 Estrutura do Trabalho	3

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Área de Estudo.....	4
2.1.1 Caracterização Climática	5
2.1.2 Caracterização Topográfica e Hidrológica.....	5
2.2 Precipitação.....	6
2.2.1 Medição da Precipitação	6
2.2.2 Classificação das Precipitações	6
2.3 Precipitação em Moçambique.....	7
2.3.1 Factores que Contribuem para a Variabilidade da Precipitação em Moçambique	8

2.4 Tendência Climática.....	9
2.5 Alterações Climáticas.....	10
2.6 Impacto das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos	11
2.7 Sistemas de Apoio a Decisão (SAD)	11

CAPÍTULO III

METODOLOGIA.....	13
3.1 Material.....	13
3.1.1. Descrição do ZDSS.....	13
3.1.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	15
3.1.3 Modelos Climáticos	16
3.2 Métodos.....	17
3.2.1 Procedimentos de Simulação no ZDSS	17
3.2.2 Análise de Tendências Anual e Sazonal da Precipitação.....	17

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Análise da Variabilidade de Precipitação com Base em dados Observados.....	18
4.2 Análise de Tendências Anuais de Precipitação no Período Histórico (1960 - 2009).....	18
4.3 Análise de Tendências Anuais de Precipitação no Período Futuro (2010 - 2100) ...	21
4.4 Análise de Tendências Sazonais de Precipitação no Período Histórico (1960 ó 2009)	24
4.5 Análise de Tendências Sazonais de Precipitação no Período Futuro (2010 - 2100)	27

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	30
5.1 Conclusões.....	30
5.2 Recomendações.....	31

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
Apêndices	36

CAPITULO I

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

1.1 Introdução

A gestão sustentável de recursos hídricos tem sido um dos maiores desafios do século XXI, principalmente, devido aos impactos negativos cada vez mais frequentes dos eventos extremos, resultantes das alterações climáticas. Segundo pesquisadores da área, o impacto das alterações climáticas é um facto que carece de investigação e acompanhamento, de modo a proporcionar meios necessários, através de uma planificação adequada, para enfrentar novas realidades (Cunha *et all*, 2002).

De acordo com o IPCC (2007), desde meados do século XIX, o planeta tem vindo a sofrer, um aumento da concentração do Dióxido de Carbono (CO₂) na atmosfera e consequentemente, aumento da temperatura média do ar. Porém, a elevação da temperatura tem como consequência o aumento da capacidade de evaporação do ar, o que pode implicar aumento da demanda hídrica, resultando em impactos significativos, principalmente na agricultura e em outros sectores sócio-económicos.

Portanto, a mudança nos padrões climáticos globais derivados do aumento da temperatura e dos regimes de precipitação requer um forte planeamento e melhoria na gestão dos recursos hídricos. Neste contexto, a comunidade científica tem estado a desenvolver diversas ferramentas que possam servir de apoio na tomada de decisão no que refere-se a gestão de recursos hídricos.

O presente estudo tem como objectivo demonstrar as aplicações do Sistema de Apoio a Decisão (SAD) como um mecanismo de auxílio à tomada de decisões e possibilitando a resolução de problemas de gestão de recursos hídricos de forma rápida e eficiente, e dando aos decisores, tempo necessário para melhor reflectir sobre os mesmos (Zorzal, 2009). Um exemplo da aplicação deste sistema é o *Zambezi Decision Support System*¹ (ZDSS), desenvolvido para a bacia do Zambeze, com o objectivo de tornar célere o processo de avaliação dos impactos das alterações climáticas (Kling e Preishuber, 2012).

¹ Zambezi Decision Support System ó Sistema de apoio a decisão para bacia do Zambeze.

1.2 Objectivos

1.2.1 Objectivo Geral

- Demonstrar a aplicação do ZDSS na análise da variabilidade da precipitação.

1.2.2 Objectivos Específicos

- Demonstrar o funcionamento do ZDSS e sua importância na avaliação do impacto das mudanças climáticas;
- Analisar a tendência anual da precipitação na bacia do Zambeze, utilizando os modelos climáticos inseridos no ZDSS;
- Analisar a tendência sazonal da precipitação na bacia do Zambeze, utilizando os modelos climáticos inseridos no ZDSS.

1.3 Justificação do Problema

A bacia do Zambeze possui recursos naturais diversificados e valiosos para a região da África Austral, e principalmente para os países ribeirinhos. Contudo, é caracterizada por extrema variabilidade climática, facilmente observada pelo ciclo de cheias e secas que tem trazido efeitos devastadores sobre a região e conseqüentemente para a população.

Portanto, sabendo da importância vital dos seus recursos, percebe-se que um aprofundamento analítico, em termos de variabilidade dos elementos climáticos e cenários de desenvolvimento na bacia, pode conduzir a um melhor entendimento e conseqüentemente gestão dos recursos hídricos, razão pela qual, sugere-se neste estudo a análise da precipitação usando a ferramenta ZDSS, especificamente desenhada para bacia do Zambeze.

1.4 Aplicação do Estudo

Os resultados deste estudo podem ser de extrema importância, para os sectores e usuários que queiram fazer uma análise de dados climáticos passados e futuros, tais como precipitação, com vista a planificação de várias actividades sócio-económicas que concorram para uma boa gestão de recursos hídricos na bacia do Zambeze.

Este estudo pode também constituir uma fonte de informação para futuros estudos sobre a demanda e disponibilidade da água na bacia do Zambeze para diversas aplicações.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos, dos quais o primeiro capítulo apresenta a introdução e os objectivos do trabalho. No Capítulo II, descreve-se de forma resumida a Área de Estudo e apresenta-se a Revisão Bibliográfica onde se destaca alguns conceitos básicos de variáveis climáticas e hidrológicas, importantes para o desenvolvimento desta pesquisa. No Capítulo III, Material e Método, explica-se de forma detalhada, o processo de elaboração desta pesquisa e o material necessário para o desenvolvimento da mesma. No Capítulo IV, são apresentados e discutidos os resultados obtidos. No Capítulo V, estão indicadas as conclusões e as recomendações para trabalhos subsequentes. Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as referências bibliográficas usadas na elaboração deste trabalho.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Zambeze, cobrindo cerca de 1.385 000 km², é a quarta maior de África depois de Congo, Nilo e Níger. O principal afluente, o rio Zambeze, nasce no planalto central africano, nas montanhas Kalene no Noroeste da Zâmbia, a 1.585 m acima do nível médio do mar e corre para um delta em Moçambique, antes de desaguar no Oceano Índico (SARDC-IMERCSA, 1998). A bacia é partilhada por oito países nomeadamente, Zâmbia (41,9%), Angola (18,2 %), Zimbabué (15,9 %), Moçambique (11,6 %), Malawi (7,5 %), Tanzânia (2,2 %), Botswana (1,5 %) e Namíbia (1,1 %) (Peterson, 2012).

Em Moçambique, a bacia do Zambeze situa-se entre os paralelos 14°S e 19°S, prolongando se até ao ponto ocidental do país, meridiano 30° E de Greenwich. Ocupa uma área de 220.000 Km², que corresponde a cerca de 28 % da superfície do país. Faz limite a Sul com as províncias de Manica e de Sofala, a Norte com o Malawi, Tanzânia e Zâmbia, a Leste com as províncias de Zambézia e Niassa, assim como com o Malawi e o Oceano Índico, e a Oeste com a Zâmbia e o Zimbabwe (APRCDZ, 2011).

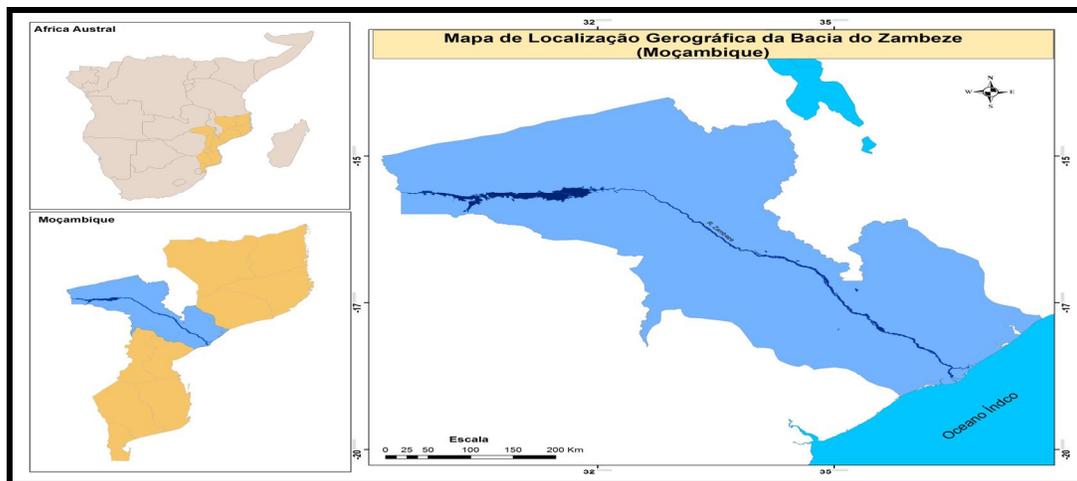


Figura 1- Mapa de Localização Geográfica da Bacia do Zambeze em Moçambique

Fonte: O Autor (2013)

2.1.1 Caracterização Climática

Devido a sua localização, a bacia do Zambeze é muito influenciada pelos sistemas de ventos dominantes, que incluem os ventos de Sueste, a massa de ar do Congo, os ventos de Nordeste e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Por outro lado a presença de grandes massas de água, como, lago Niassa, albufeira de Kariba e albufeira de Cahora Bassa desempenham um papel importante na modificação das condições de clima na bacia (Chenje, 2000).

Em Moçambique a bacia do Zambeze tem um clima bem diferenciado, onde existem diferenças claras entre a parte Norte e Sul da bacia. O regime de precipitação nesta região é fortemente influenciado pelo movimento da ZCIT. A precipitação média anual varia entre 1400 a 1000 mm, dos valores mais altos a norte da bacia declinando para valores mais baixos a medida que se caminha para o sul, podendo atingir a metade deste valor a sudoeste. Nas zonas próximas da costa, o clima é fortemente influenciado pelas águas quentes do canal de Moçambique, uma vez que os ventos predominantes são do quadrante Este, o nível de humidade é relativamente alto.

A estação chuvosa tem lugar entre Novembro e Abril, numa altura em que a bacia regista também temperaturas mais altas. As temperaturas mais baixas variam entre 19°C a 21°C e ocorrem na estação seca, denominada seca e fria, de Maio a Outubro. A taxa de evaporação é alta (1600 a 2300 mm) e por via desta ocorre muita perda de água em extensas regiões planas inundadas e pântanos, especialmente a sudoeste da bacia (APRCDZ, 2011).

2.1.2 Caracterização Topográfica e Hidrológica

A topografia da bacia apresenta uma orientação para Leste, as regiões ocidentais e sudoeste são constituídas por montanhas. No território moçambicano, a bacia decompõe-se em 4 grandes zonas (zona planáltica ou altiplanáltica entre 1000 a 1500 m, zona mesoplanáltica entre 500 a 1000 m, zona sub ó planáltica entre 200 a 500 m e zona de planícies abaixo de 200 m). Nos distritos abrangidos pela bacia tanto a distribuição, como a ocorrência e disponibilidade de recursos hídricos não é uniforme, sendo a disponibilidade dependente da queda da chuva. Contudo, a bacia alberga quase metade dos recursos hídricos de água doce do país (APRCDZ, 2011).

2.2 Precipitação

De acordo com Peixoto (1973) citado por Cambula (2005) a precipitação é a deposição da água no globo terrestre proveniente da atmosfera. Ela pode ocorrer em forma líquida (chuva) ou sólida (neve, granizo e saraiva).

2.2.1 Medição da Precipitação

A quantidade de chuva é expressa em altura de água precipitada e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. As medições são feitas utilizando aparelhos chamados Pluviômetros ou Pluviógrafos que podem ser manuais ou automáticos. Esses aparelhos possuem medidas padronizadas e colhem uma pequena amostra. As leituras são feitas em intervalos de 24 horas e anotadas em cadernetas próprias por um observador treinado (Pinto *et al.*, 2007).

2.2.2 Classificação das Precipitações

A precipitação é classificada com base nos fenômenos meteorológicos, associados ao mecanismo pelo qual se produz a ascensão do ar húmido. De acordo com Carvalho e Silva (2006), a precipitação é classificada como: Frontal, Convectiva e Orográfica.

- **Precipitação Frontal** ocorre quando se encontram duas grandes massas de ar, de diferentes temperaturas e humidade. A massa de ar mais quente é mais leve e normalmente mais húmida. Ela é empurrada para cima, onde atinge temperaturas mais baixas, resultando na condensação do vapor. As massas de ar que formam a precipitação frontal tem centenas de quilómetros de extensão e movimentam-se de forma relativamente lenta, consequentemente caracterizam-se pela longa duração e por atingirem grandes extensões. (Villela e Mattos, 1971; Pinto *et al.*, 1976; Collischonn e Tassi, 2008 citados por Buchir, 2013).
- **Precipitação Convectiva** é típica de regiões tropicais, ocorre pelo aquecimento de massas de ar, relativamente pequenas, que estão em contacto directo com a superfície quente dos continentes e oceanos.

O arrefecimento do ar resulta na sua subida para níveis mais altos da atmosfera onde as baixas temperaturas condensam o vapor, formando nuvens. Este processo pode ou não resultar em Precipitação. Normalmente, este tipo de precipitação ocorre de forma concentrada sobre áreas relativamente pequenas. Os processos convectivos produzem precipitação de grande intensidade e duração relativamente curta. (Villela e Mattos, 1971; Pinto *et al.*, 1976; Collischonn e Tassi, 2008 citados por Buchir, 2013).

- **Precipitação Orográfica** ocorre em regiões em que um grande obstáculo do relevo, como uma cordilheira ou serra muito alta, impede a passagem de ventos quentes e húmidos, que sopram do mar, obrigando o ar a subir. Em maiores altitudes a humidade do ar se condensa, formando nuvens junto aos picos da serra, onde chove com muita frequência (Villela e Mattos, 1971; Pinto *et al.*, 1976; Collischonn e Tassi, 2008 citados por Buchir, 2013).

2.3 Precipitação em Moçambique

A maior parte do território Moçambicano localiza-se na zona inter-tropical, o que lhe confere um clima do tipo tropical com quatro variações: tropical húmido, tropical seco, tropical semi-árido e clima modificado pela altitude (Lobo, 1999). Queface (2009) afirma que, o clima tropical húmido é o predominante, caracterizado por duas estações, fria e seca que se estende de Maio a Setembro e a quente e húmida entre Outubro e Abril. A precipitação é mais abundante no centro e no norte do país, com uma média anual de 1.000 a 1.400 mm, chegando a atingir os 2.200 mm nas terras altas da Zambézia (Cordeiro, 1987).

De acordo com Benessene (2002), a sul do rio Save, a precipitação é irregular e indefinida, podendo ocorrer longos períodos de seca e Queface (2009) afirma que esta decresce do litoral para o interior (1.000 a 800 mm e 800 a 600 mm), e diminui até cerca de 300 mm no distrito de Pafúri na província de Gaza.

2.3.1 Factores que Contribuem para a Variabilidade da Precipitação em Moçambique

- **Zona de convergência intertropical (ZCIT)** - é uma zona de baixas pressões, onde convergem diferentes massas de ar e criam-se nuvens de desenvolvimento vertical (nuvens convectivas) que provocam grandes precipitações. As ZCIT influenciam directamente no regime de precipitação de Moçambique principalmente no norte do rio Save (Rojas e Amade, 1996 e Benessene, 2002).
- **Continentalidade** ó a precipitação varia com a proximidade ou afastamento de um lugar em relação ao mar. Os lugares mais próximos do oceano tem tendência a registar maiores valores de Precipitação anual do que lugares no interior dos continentes. Em Moçambique, a diminuição da precipitação acentua-se com o aumento da continentalidade na maioria das regiões do vale do Zambeze e sul do Save, onde a influência do baixo nível dos terrenos não permite em contrapartida pronunciada influência orográfica (Benessene, 2002).
- **Ciclones Tropicais** - são zonas de baixas pressões com características dinâmicas e convergência, movimentando ar húmido e quente horizontalmente. A estação ciclónica estende-se do mês de Novembro até Abril. Este fenómeno dura cerca de 6 dias (desde a sua formação até a dissipação), porém por vezes há ciclones que duram duas semanas às vezes até um mês (Roja e Amade, 1996) e segundo Paulo (2003), os ciclones tropicais contribuem positivamente na ocorrência da precipitação em Moçambique.
- **Anticiclones** - são zonas de altas pressões, que se caracterizam pela divergência e subsistência do ar. As depressões térmicas são acompanhadas de massas de ar quente e seco, e influenciam negativamente na ocorrência da precipitação (Preston e Tyson, 2004).
- **El Niño-Oscilação Sul (ENSO)** - Corresponde a episódios quentes e frios associados a alterações dos padrões normais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacifico que conduzem a alteração no comportamento da Precipitação no mundo (Massequim e Azevedo, 2010).

Em Moçambique eventos El Niño estão relacionados com situações de seca e eventos La Niña estão associados com a Precipitação abundante (Roque, 2012).

- **Frentes Frias do Sul** - são massas de ar frias que se formam na superfície polar sul, possuindo uma migração periódica anual em direcção ao equador. Na sua trajectória, estas massas de ar altamente frias convergem com as massas de ar quentes, formando-se na zona de convergência grandes nuvens de desenvolvimento vertical (nuvens convectivas) de onde provem a precipitação (Roja e Amade, 1996).
- **Baixas Costeiras** - são células de baixas pressões, localizadas na parte costeira da África Austral. Em Moçambique, ocorrem geralmente no verão e são observadas com maior frequência na zona sul do rio Save (Van e Hurry, 1992 citado por Cambula 2005).
- **Orografia** - a composição orográfica duma determinada região facilita o processo de ascensão das massas de ar que com a diminuição da temperatura a massa de ar evolui até ao ponto de saturação onde a água condensa se e precipita (Roja e Amade, 1996).

2.4 Tendência Climática

Segundo o IPCC (2007), algumas regiões registaram um aumento da quantidade de precipitação, como são os casos do Este da América do Norte e do Sul, o Norte da Europa e o Centro - Norte da Ásia, enquanto outras ficaram significativamente mais secas, como a região do Mediterrâneo, do Sul de África e parte do Sul asiático.

As tendências climáticas, em geral, estão associadas a alterações graduais que se processam numa determinada região, como por exemplo, a evolução temporal lenta da urbanização de uma certa área geográfica. Back (2001) define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas. Portanto, uma mudança caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores médios no período de registo.

Haylock *et al.* (2006), com o objectivo de identificar mudanças climáticas regionais, fizeram uma análise da precipitação sobre a América do Sul, e observaram uma tendência de aumento do total anual de precipitação sobre o Nordeste do Brasil. Estudos do projecto ACACIA para a Europa indicam que a temperatura média do ar irá aumentar na Europa, sobretudo na costa atlântica sul, a uma média de pelo menos 0,4 °C por década. A precipitação média anual poderá decrescer ligeiramente a uma taxa de 1% por década, mas são de esperar grandes variações sazonais. No Inverno, o aumento da precipitação poderá atingir 1% a 4% por década, enquanto no Verão, a precipitação no sul da Europa poderá sofrer uma diminuição de 5% por década (Parry, 2000).

Segundo o estudo sobre o impacto das alterações climáticas no risco de calamidades em Moçambique desenvolvido pelo INGC (2009), espera-se que até 2075 poderá registar-se um aumento da temperatura média do ar entre 1,8 °C a 3,2 °C, redução da precipitação entre 2% a 9%, aumento da radiação solar entre 2% a 3% e aumento da evapotranspiração entre 9% a 13%. De acordo com o mesmo estudo, espera-se que a precipitação aumente na maior parte de Moçambique durante os meses de Dezembro a Fevereiro e Março a Maio, embora estes aumentos sejam frequentemente inferiores aos aumentos aproximados na evapotranspiração durante os meses de Junho a Agosto e Setembro a Novembro. Espera-se também, que aumentos na evaporação sejam provavelmente maiores do que os da precipitação durante a estação seca (Junho a Novembro), sugerindo que a estação seca se tornará mais seca por volta de 2030 e mais ainda por volta de 2060 a 2080 (INGC, 2009).

O estudo da variabilidade e da tendência dos parâmetros climáticos adquire importância, uma vez que as condições climáticas, consideradas como elemento condicionador da dinâmica do sistema ambiental, encontram-se directamente ligadas aos processos hidrológicos que envolvem a dinâmica de uma bacia hidrográfica, assim como, a gestão das águas, o que por sua vez, afecta o desenho dos sistemas de irrigação, a geração de energia hidroeléctrica e outras actividades (Steinke, 2004).

2.5 Alterações Climáticas

De acordo com Steinke (2004), o termo *variabilidade climática* é utilizado para definir as variações do clima em função das condicionantes naturais do planeta e suas interacções.

Por sua vez, as mudanças climáticas seriam as alterações na variabilidade natural do clima devido às atividades humanas. Segundo pesquisadores da área, as definições utilizadas na literatura sobre alterações climáticas se diferenciam de acordo com a inclusão dos efeitos antrópicos na identificação da mesma (Tucci 2002).

Assim sendo, as alterações climáticas poderão ter causas naturais, antropogênicas ou ser resultado de ambos, (Santos, *et al.*, 2006).

2.6 Impacto das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos

Nos últimos anos, inúmeros estudos têm sido desenvolvidos com relação à vulnerabilidade hidrológica devido às alterações climáticas. Pois, é sabido que as alterações climáticas se reflectem na modificação de variáveis, como precipitação, temperatura, vento, radiação, humidade, ou seja, variáveis representativas do clima (Buchir, 2013).

O aumento da concentração de gases de efeito estufa, resulta em aumento no balanço de radiação na superfície terrestre. Por sua vez, este aumento de balanço de radiação, produz modificações nas temperaturas, taxas de evaporação e Precipitação e, conseqüentemente, nos regimes de humidade dos solos, reabastecimento de águas subterrâneas e escoamento fluvial (Steinke, 2004).

Os impactos ao longo do tempo são notáveis, pois, a alteração climática gera outros ambientes em função da ocorrência de maior ou menor precipitação, temperatura e humidade. Com a alteração destes condicionantes, o escoamento proveniente das bacias também se altera. Contudo, essas mudanças não alteram somente o escoamento, mas também alteram os condicionantes naturais que dão sustentabilidade ao meio natural como a fauna e a flora.

2.7 Sistemas de Apoio a Decisão (SAD)

Actualmente, os avanços na tecnologia de computação, aliados ao aumento de complexidade na gestão de recursos hídricos, têm estimulado a criação de novas ferramentas para auxiliar de maneira amigável aos decisores na tomada de decisão (Braga, *et al.*, 1998). O SAD é uma ferramenta que pode ser usada pelos gestores de

recursos hídricos, com o objectivo principal de tornar os elementos básicos do processo de decisão mais explícitos (Mattei, 2005).

De acordo com Turban e Aronson (1998), um SAD pode ser entendido como um sistema flexível, interactivo e adaptável, desenvolvido, principalmente, para dar suporte a solução de problemas de gestão não estruturado e para aprimorar a tomada de decisão, utilizando dados e provendo de uma interface amigável. O SAD é responsável pela ajuda a todos envolvidos na análise de um problema trivial, estabelecendo uma linguagem comum e uma forma de pensar estruturada, as características gráficas apoiam a comunicação e analisam possíveis retroacções e conflitos, podendo ajudar com modelos de optimização e simulação (Mattei, 2005).

Pensando nas qualidades associadas a esse tipo de sistema, vários trabalhos estão sendo realizados, em todo o mundo, quando o assunto é auxílio a gestão dos recursos hídricos. O projecto MULINO (*Multi-sectoral Integrated and Operational Decision Support System for Sustainable Use of Water Resources at the Catchment Scale*), por exemplo, desenvolvido na Europa, no período de 2001 a 2003, apresentou estudos de casos representativos em países como Itália, Portugal, Bélgica, Reino Unido e Roménia, numa demonstração do potencial de um sistema na gestão sustentável dos recursos hídricos europeus (Rodrigues e Machado, 2004).

Para o caso de África, por exemplo, desenvolveu-se em 2004 o Nilo DSS, e muito recentemente, o ZDSS, desenvolvido para a bacia do Zambeze permitindo uma análise de cenários actuais e futuros de mudanças climáticas.

Este software tem a grande vantagem de reduzir consideravelmente o tempo de análise das variáveis climáticas, ser gratuito, não precisar de ser instalado, e de precisar somente de estar conectado a internet e ter precisão para seu uso. Contudo, ainda apresenta algumas desvantagens o ZDSS usa dados mensais para a simulação, por essa razão, o potencial para avaliar inundações é limitado. O ZDSS inclui somente os reservatórios básicos da bacia do Zambeze e requer uma boa conexão a *internet*² (Kling e Preishuber, 2012).

² *Internet* – é uma rede mundial que interliga milhões de computadores em todo mundo.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1 Material

Na realização deste trabalho foi utilizada uma ferramenta de análise denominada *Zambezi Decision Support System* (ZDSS) desenvolvida para a bacia do Zambeze, com vista a apoiar à tomada de decisão baseando-se na intensa utilização de bases de dados e modelos matemáticos, permitindo assim, uma rápida avaliação dos impactos das alterações climáticas.

3.1.1. Descrição do ZDSS

O ZDSS é um sistema baseado em *Websystem*³ e requer uma ligação à *internet*. Este sistema é instalado num servidor constituído por duas partes: (I). Modelo de Bacia Hidrográfica (MBH) e (II). Sistema de Gestão de Informação, por sua vez, o este é constituído por uma base de dados, uma interface gráfica do utilizador e ferramentas analíticas. O MBH é constituído por um Modelo de Balanço Hídrico e um Modelo de Alocação de Água, (Kling e Preishuber, 2012).

Embora a bacia do Zambeze esteja dividida em 13 sub-bacias (Chenje, 2000), o Modelo de Balanço Hídrico inserido no ZDSS simula o escoamento gerado da precipitação mensal e entradas de temperatura em 27 sub-bacias do Zambeze (ver no apêndice 2). Este número de sub-bacias é fixo e não pode ser alterado pelo utilizador. O modelo de alocação de água simula a descarga ao longo da rede fluvial bem como o impacto de reservatórios, pântanos, lagos, e diversos em 40 pontos. Contudo, o utilizador pode acrescentar pontos adicionais em qualquer local através da interface gráfica do utilizador, (Kling e Preishuber, 2012). A interface de utilizador foi concebida com enfoque no mapa da bacia do Zambeze e os blocos básicos de construção para a simulação de cenários estão estruturados em secções:

³*Websystem* – é uma tecnologia que visa unificar as soluções para internet em um único programa.

Secção de Cenários Climáticos

Esta secção permite seleccionar um cenário climático, como também permite criar novos cenários climáticos através da introdução e visualização de novos dados. Na interface principal desta secção, são vários os cenários climáticos pré-definidos, podendo-se destacar a disponibilidade de dados históricos observados de estações num período que varia de 1901 à 2009 e projecções climáticas geradas por três Modelos de Circulação Geral (GCM), para o período de 1960 à 2100 (Kling e Preishuber, 2012).

- **Dados Históricos Observados:** Corresponde a observações do período histórico obtidos das estações entre 1901 e 2009. Estes dados são disponibilizados pelo *Global Precipitation Climatology Centre*⁴ (GPCC) e pelo *Climate Reserch Unit*⁵ (CRU).
- **CNRM, ECHAM e IPSL:** São os três modelos climáticos inseridos no ZDSS, que podem gerar cenários climáticos de 1960 a 2100.

Secção de Cenários de Desenvolvimento

A secção de Desenvolvimento permite projectar um cenário futuro com base em condicionantes previamente impostas por um determinado órgão competente. Estes podem ser:

- **Cenário de Desenvolvimento Histórico:** É um cenário de desenvolvimento futuro, baseado nas condições históricas da bacia do Zambeze.
- **Cenário de Desenvolvimento Base:** É um cenário de desenvolvimento futuro, baseado nas condições actuais da bacia do Zambeze.
- **Cenário de Desenvolvimento Moderado:** É um cenário de desenvolvimento futuro, baseado na inclusão ou aumento moderado/gradual de infra-estruturas na bacia, tais como reservatórios.

⁴*Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) - Centro Global de Climatologia de Precipitação

⁵*Climate Reserch Unit* (CRU) - Unidade de Investigação Climática

- **Alto Desenvolvimento:** É um cenário de desenvolvimento futuro, baseado na inclusão ou aumento acelerado de infra-estruturas na bacia (reservatórios).

De referir que estes cenários de desenvolvimentos foram pré-definidos de acordo com as projecções do Banco Mundial (2010) para a bacia do Zambeze (Kling e Preishuber, 2012).

Secção de Execução

Esta secção permite simular as condições de escoamento sob diferentes combinações de modelos climáticos e cenários de desenvolvimento (Kling e Preishuber, 2012).

Secção de Análise

Nesta secção faz-se a visualização e comparação dos resultados simulados. Tais comparações podem ser entre diferentes cenários, locais ou variáveis, (Kling e Preishuber, 2012).

3.1.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema de informação espacial, através de procedimentos computacionais que permitem e facilitam a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenómenos que nele ocorrem. Isto é, uma ferramenta baseada em programas de computador que separa a informação em diferentes camadas temáticas e armazena-as de modo independente (Buchir, 2013).

O SIG permite trabalhar de forma rápida e simples na construção de mapas para análise da Terra e dos seus eventos, podendo relacionar diferentes dados a uma determinada localização geográfica, gerando novas informações sobre dados já conhecidos e revelando relacionamentos e tendências não focalizadas aparentemente em palmilhas ou pacotes estatísticos. Portanto, são aplicativos capazes de reunir e vincular objectos gráficos a estruturas de banco de dados, permitindo a realização de complexas análises espaciais.

3.1.3 Modelos Climáticos

Os modelos climáticos são instrumentos de elevada importância no estudo das alterações climáticas porque permitem, através de simulações do sistema climático, interpretar o comportamento recente do clima e obter cenários do clima futuro (Santos e Miranda, 2006). A utilização de modelos numéricos globais (GCM) ou regionais (RCM) vem se tornando cada vez mais frequente em pesquisas, como forma de reduzir a margem de erro dos pesquisadores nas previsões (Dereczynski *et al.*, 2010).

Actualmente, os GCM possuem resoluções formais típicas entre 100 km a 200 km (*grid-scales*), pelo que permitem o estudo satisfatório de características climáticas de larga escala, como a circulação geral atmosférica e oceânica, e os regimes subcontinentais de precipitação e temperatura. Por sua vez, os RCM complementam os GCM, de modo a adicionar maior detalhe aos modelos climáticos globais, possuindo, actualmente, resoluções típicas entre 25 km a 50 km (Rummukainen, 2010 citado por Buchir, 2013).

Portanto, a introdução destes modelos que permitem através do sistema climático realizar a previsão e interpretação do comportamento recente do clima com vários dias de antecedência e, posteriormente, obter cenários de clima futuro, é sem dúvida uma ferramenta essencial para a previsão de curto e longo prazo.

- **Modelo Climático ECHAM** – Segundo o instituto de Meteorologia Max Planck-Max, citado por Gafur (2010), ECHAM é um modelo de circulação geral da atmosfera usado na simulação do clima global, com resolução espacial de 300 Km a 500 Km num intervalo de tempo de 20 a 40 min, dependendo da versão do modelo. Na simulação do clima, o modelo usa variáveis como temperatura, precipitação, pressão superficial e humidade.
- **Modelo Climático CNRM** – é um modelo climático global do Centro Internacional de Investigações Meteorológica da França. O modelo é constituído de três modelos componentes, nomeadamente: atmosférico, oceânico e de gelo marinho.

3.2 Métodos

3.2.1 Procedimentos de Simulação no ZDSS

Para fazer uma simulação, define-se em primeiro lugar o cenário climático e o cenário de desenvolvimento que se pretende usar. Em seguida, entrando na secção de execução, cria-se uma nova simulação (dando um nome a nova simulação), especifica-se o período de simulação, lembrando que este período deve estar dentro do campo de dados do cenário climático, porém, para uma análise estatística recomenda-se um período mínimo de 20 anos (ver o guião de uso do ZDSS no apêndice I).

Em seguida deve-se salvar e iniciar a simulação. A visualização e análise dos resultados da simulação são feitas através da secção de análise, onde é feita a escolha da variável (Temperatura ou Precipitação), a resolução espacial (sub-bacias), resolução temporal (mensal ou anual) e o tipo de gráfico (Kling e Preishuber, 2012).

3.2.2 Análise de Tendências Anual e Sazonal da Precipitação

Utilizando a ferramenta ZDSS, foram feitas análises do comportamento anual e sazonal da precipitação em quatro sub-bacias do Zambeze, todas localizadas no território Moçambicano. As sub-bacias foram escolhidas de tal forma que estas representem quatro pontos distintos da área de estudo.

As simulações foram feitas utilizando dados históricos e de dois modelos climáticos (CNRM e ECHAM) inseridos no ZDSS, compreendendo os períodos entre 1960 à 2009 e 2010 à 2100, considerando um desenvolvimento base segundo as projecções do Banco Mundial (2010) para a bacia do Zambeze. Feitas as simulações no ZDSS, os dados foram exportados para o *Excel* onde foram feitas análises gráficas, para verificar a tendência anual e sazonal da precipitação, isto é, verificar se existe um aumento ou diminuição da precipitação ao longo do ano e das diferentes épocas do ano.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da Variabilidade de Precipitação com Base em dados Observados

Analisando a variabilidade da precipitação ao longo da bacia, nota-se em alguns casos, extremos positivos e negativos para os dados observados para todas as sub-bacias em análise, facto que pode ser explicado pela ocorrência de fenómenos como La Niña e El Niño (ver no apêndice III) respectivamente que ocorrem nesses períodos.

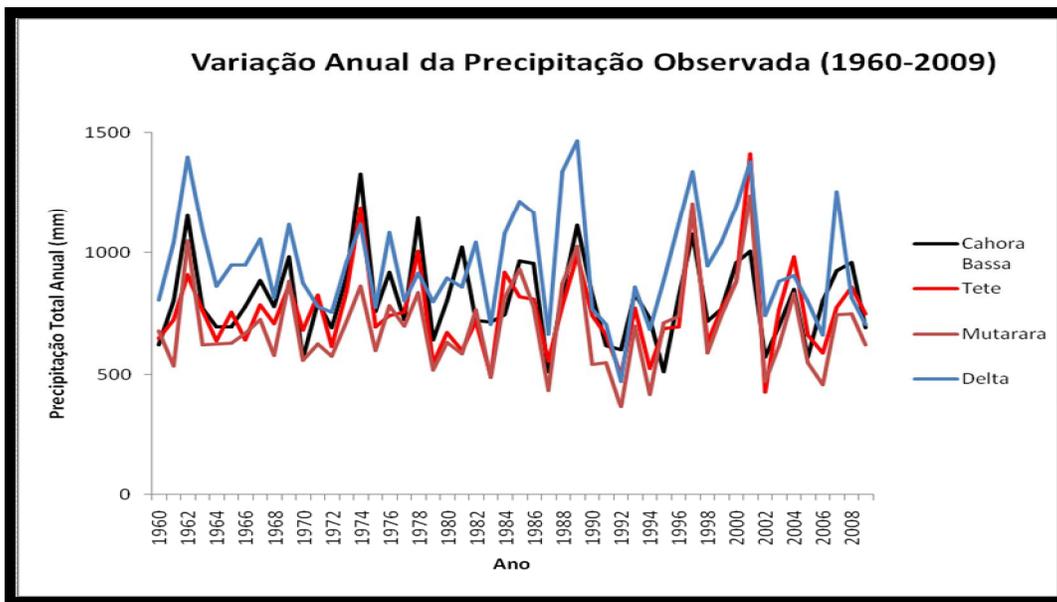


Figura 2 - Variação temporal da Precipitação Total Anual com Base nas Observações

Fonte: O Autor (2013)

4.2 Análise de Tendências Anuais de Precipitação no Período Histórico (1960 - 2009)

A análise de tendência anual de precipitação baseia-se na verificação de uma mudança sistemática e contínua, caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores no período de registo de qualquer parâmetro de uma dada amostra.

Observando os resultados apresentados pelas séries de precipitação para o período histórico de 1960 a 2009, nota-se para a sub-bacia de Cahora Bassa (figura 3), uma tendência de diminuição da precipitação para dados observados e do modelo ECHAM, enquanto para o modelo CNRM há uma ligeira tendência de aumento de precipitação.

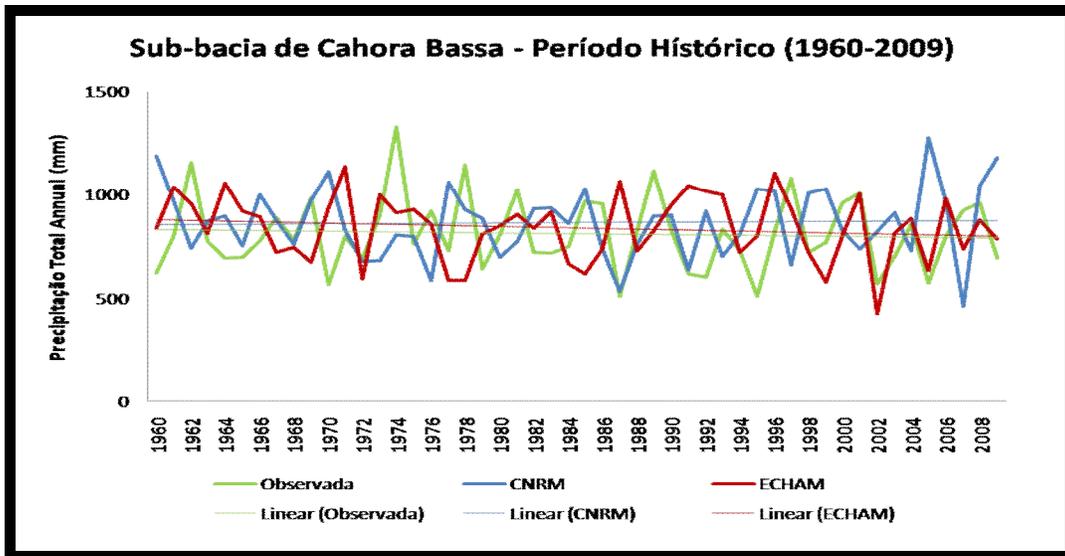


Figura 3 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Cahora Bassa (1960 -2009)
 Fonte: O Autor (2013)

Na sub-bacia de Tete (figura 4), nota-se para os modelos CNRM e ECHAM uma ligeira tendência de diminuição. No entanto, os dados observados mostram uma ligeira tendência de aumento, contudo, de forma quase estacionária.

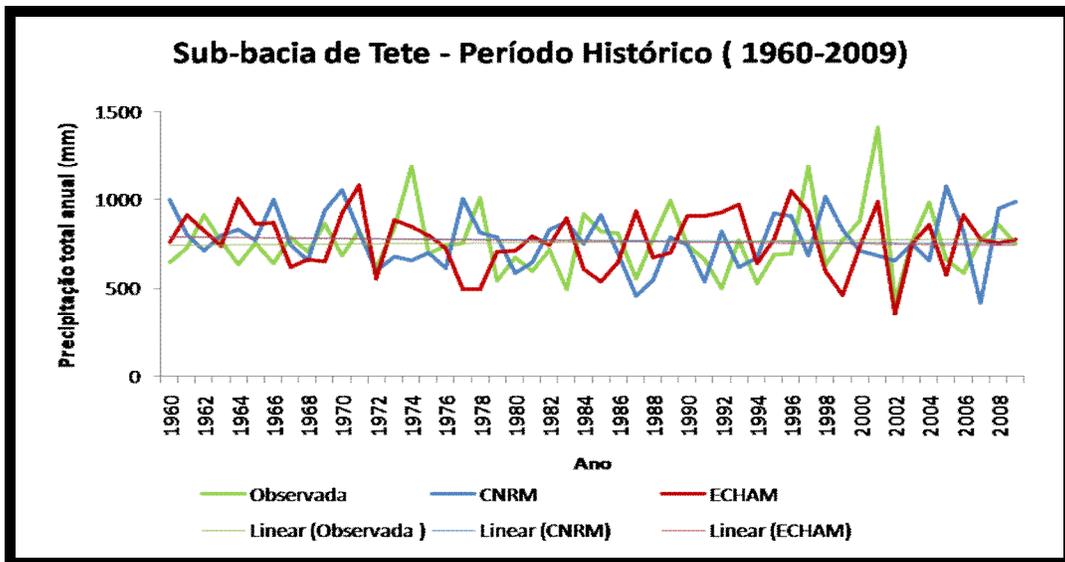


Figura 4 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Tete (1960 -2009)
 Fonte: O Autor (2013)

Analogamente à sub-bacia de Tete, a sub-bacia de Mutarara (figura 5), apresenta, uma ligeira tendência de diminuição da precipitação para os modelos CNRM e ECHAM e uma pequena tendência de aumento para os dados observados.

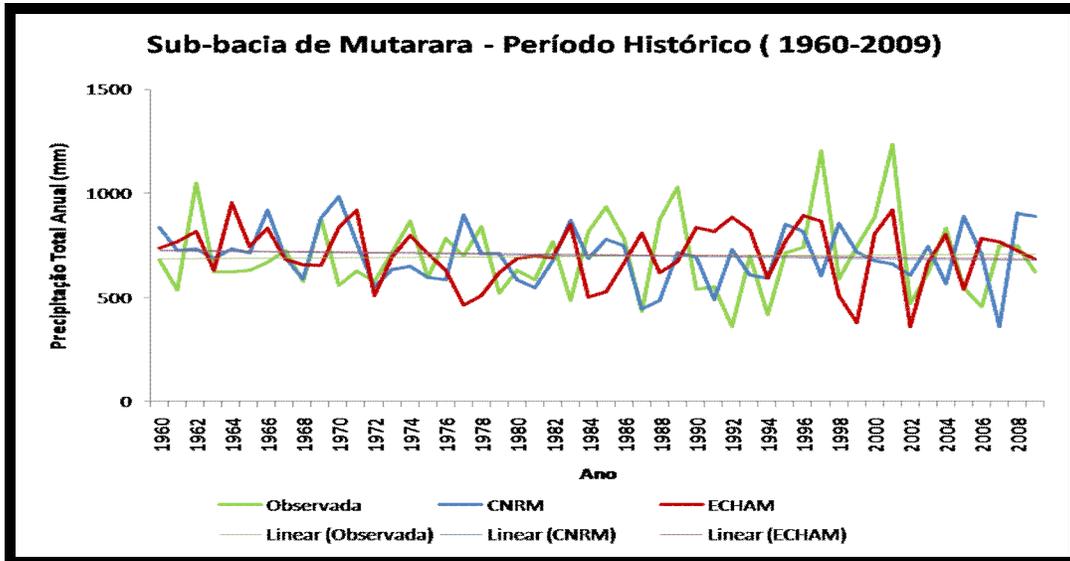


Figura 5 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Mutarara (1960 -2009)

Fonte: O Autor (2013)

Na sub-bacia Delta (figura 6), nota-se um cenário diferente das outras sub-bacia onde há ligeira tendência de diminuição da precipitação tanto para os dados observados como para os dados gerados pelos dois modelos (CNRM e ECHAM).

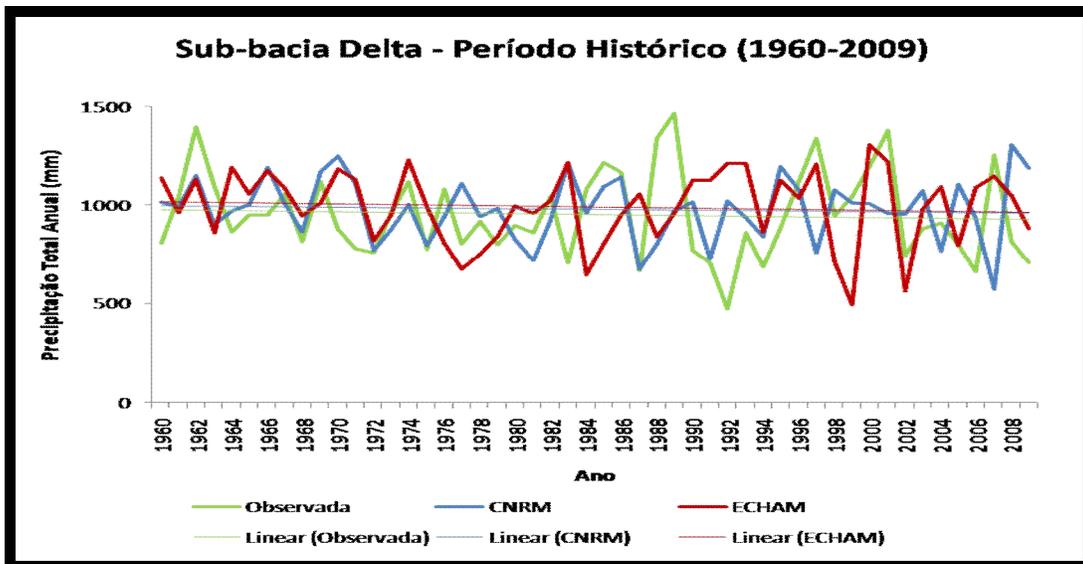


Figura 6 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia Delta (1960 -2009)

Fonte: O Autor (2013)

De forma geral observa-se que não há uma concordância absoluta de ano para ano entre os dados observados e os gerados pelos modelos, notando-se casos em que as observações sobrestimam os modelos e vice-versa. Contudo, observa-se uma correlação entre as observações e os modelos, pois, mostram não haver tendências significativas, tanto de aumento como de diminuição da precipitação em todas sub-bacias em análise.

4.3 Análise de Tendências Anuais de Precipitação no Período Futuro (2010 - 2100)

Analisando o comportamento da precipitação para o período futuro de 2010 a 2100, nota-se que para a sub-bacia de Cahora Bassa (figura 7), há uma tendência quase estacionária para os dados gerados pelo modelo CNRM e uma tendência de diminuição para os dados gerados pelo modelo ECHAM.

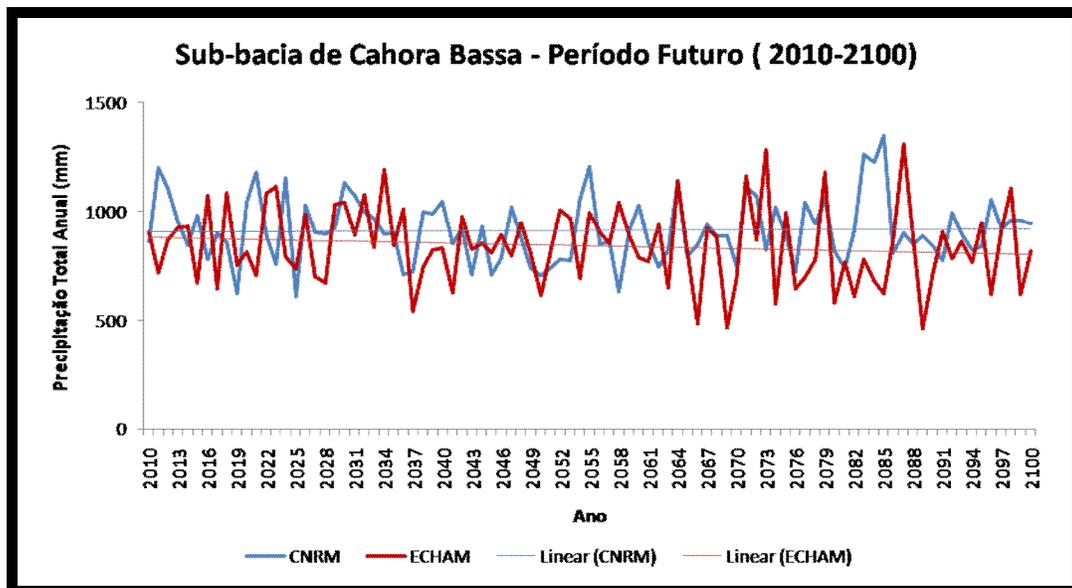


Figura 7 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Cahora Bassa (2010 -2100)

Fonte: O Autor (2013)

Observa-se para a sub-bacia de Tete (figura 8), uma tendência quase estacionária para o modelo CNRM e uma tendência de diminuição para o modelo ECHAM.

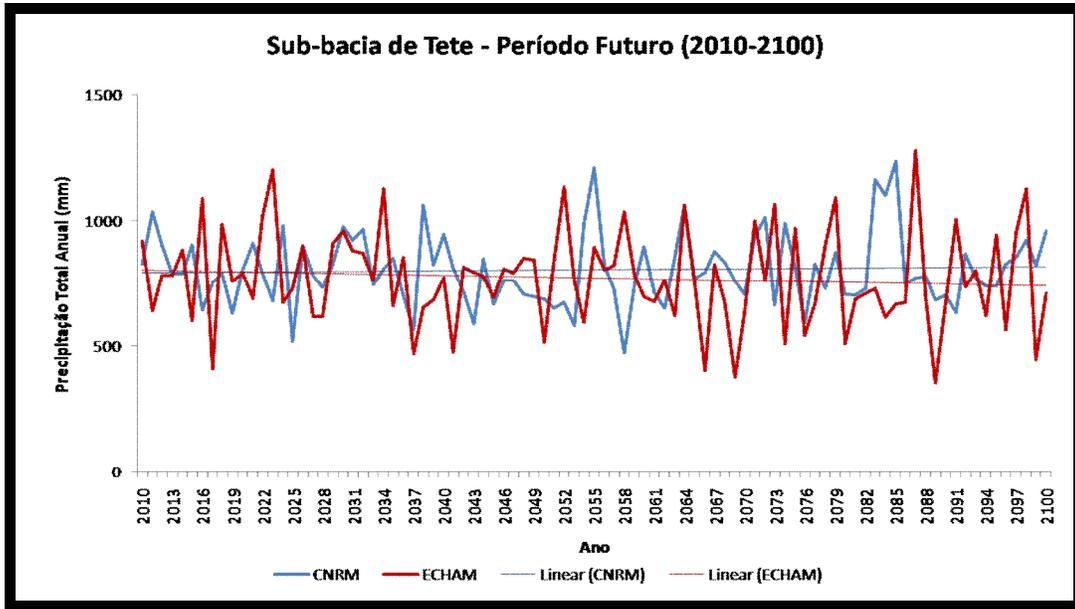


Figura 8 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Tete (2010 -2100)

Fonte: O Autor (2013)

Para a sub-bacia de Mutarara (figura 9), observa-se uma tendência quase nula para o modelo CNRM e uma tendência de diminuição para o modelo ECHAM.

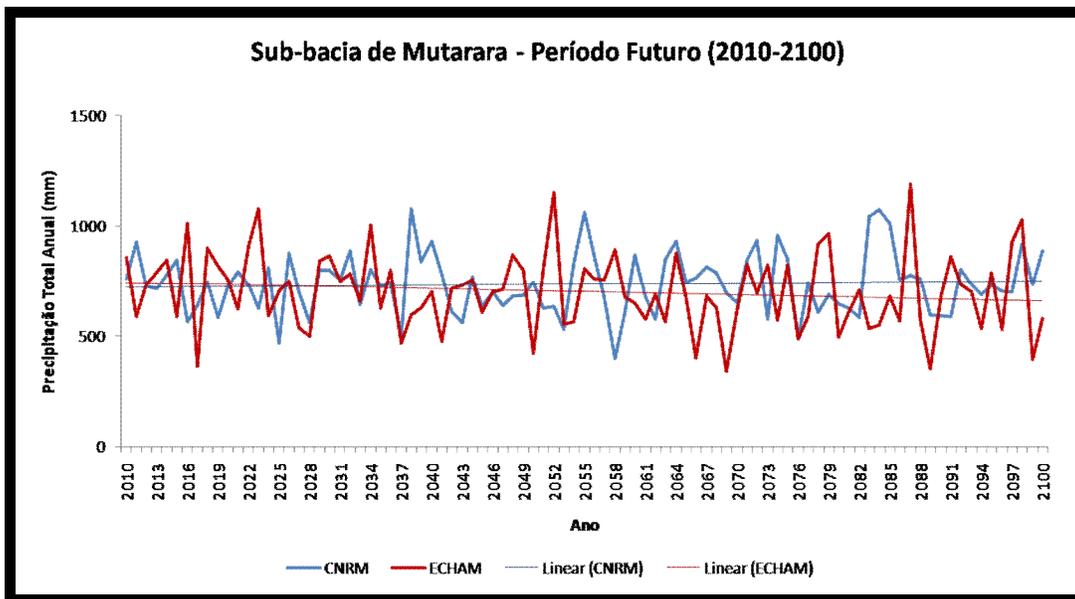


Figura 9 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia de Mutarara (2010 -2100)

Fonte: O Autor (2013)

Para a sub-bacia Delta (figura 10), observa-se que para o modelo CRNM não há mudança no comportamento da precipitação, enquanto para o modelo ECHAM verifica-se uma tendência de diminuição da precipitação.

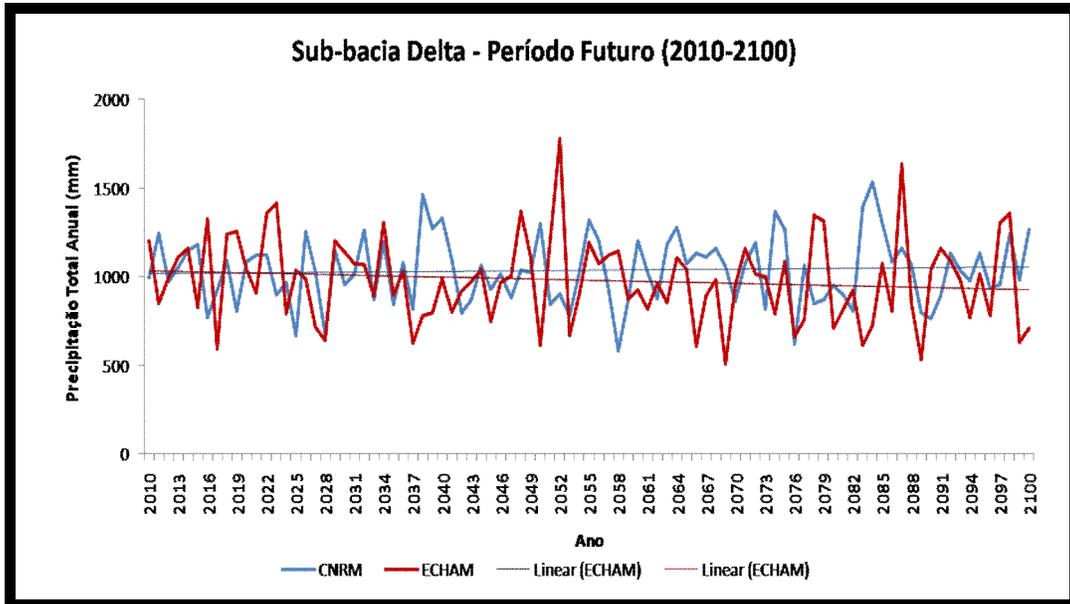


Figura 10 – Variação Temporal da Precipitação Total Anual na Sub-bacia Delta (2010 -2100)

Fonte: O Autor (2013)

No geral, observa-se tanto no período histórico como no período Futuro uma pequena discrepância entre os resultados das observações e dos modelos, facto que pode ser atribuído as condições de relevo ou a cobertura do solo, para além dos factores condicionantes de cada modelo, isto é, dependendo do fabricante e da região de origem, cada modelo assume os seus próprios critérios de análise de dados. A mesma justificativa pode-se aplicar no período futuro onde os dados gerados pelo modelo ECHAM apresentam uma tendência de diminuição da precipitação, enquanto, os dados gerados pelo modelo CNRM não apresentam tendências significativas nem de aumento como de diminuição, apresentando um comportamento quase estacionário para todas as sub-bacias em análise.

4.4 Análise de Tendências Sazonais de Precipitação no Período Histórico (1960 – 2009)

A análise de tendência sazonal de precipitação baseia-se na verificação de mudanças abruptas em séries temporais, dentro de uma determinada estação/época do ano. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), Moçambique apresenta duas estações do ano, o verão e o inverno. A estação de verão tem início em Outubro e fim em Março, e a estação de inverno vai de Abril a Setembro.

Da análise sazonal para o período Histórico de 1960 a 2009, nota-se que para a sub-bacia de Cahora Bassa (figuras 11 e 12), os dados gerados pelos modelos CNRM e ECHAM, assim como os dados observados, apresentam uma ligeira semelhança quanto ao seu comportamento sazonal, sendo o verão a época do ano com maior precipitação, e o inverno com uma precipitação quase nula, resultado de pouca chuva nos meses de Junho, Julho e Agosto, portanto, os mais secos.

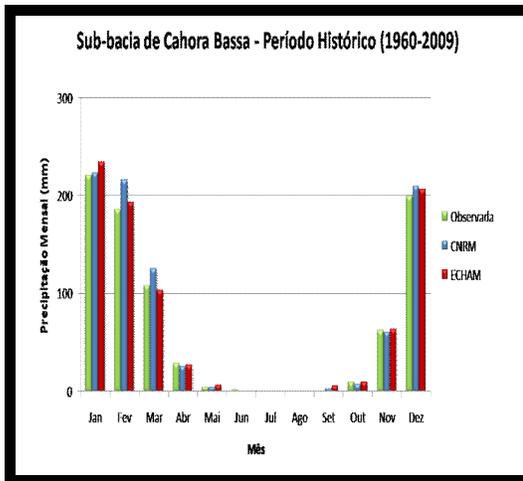


Figura 11 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Cahora Bassa (1960 -2009)

Fonte: O Autor (2013)

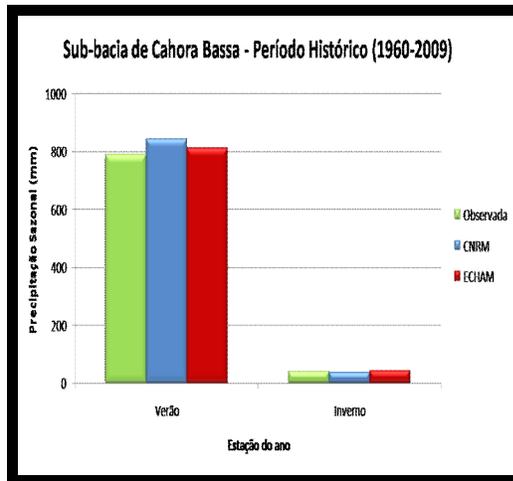


Figura 12 - Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Cahora Bassa (1960 ó 2009)

Fonte: O Autor (2013)

Para a sub-bacia de Tete (figura 13 e 14), observa-se que para os meses de verão, a quantidade de precipitação é maior, em relação aos meses de inverno, onde a precipitação é relativamente muita baixa.

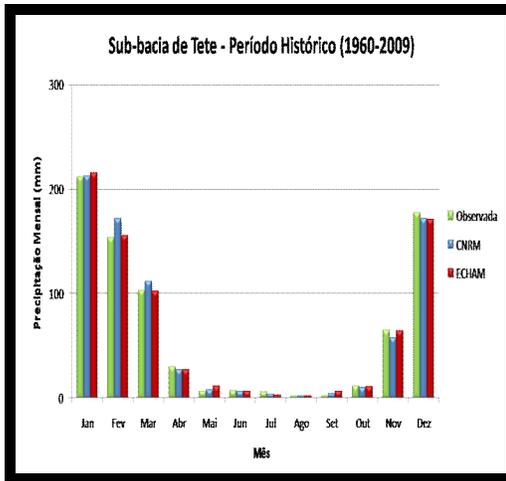


Figura 13 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Tete (1960 - 2009)

Fonte: O Autor (2013)

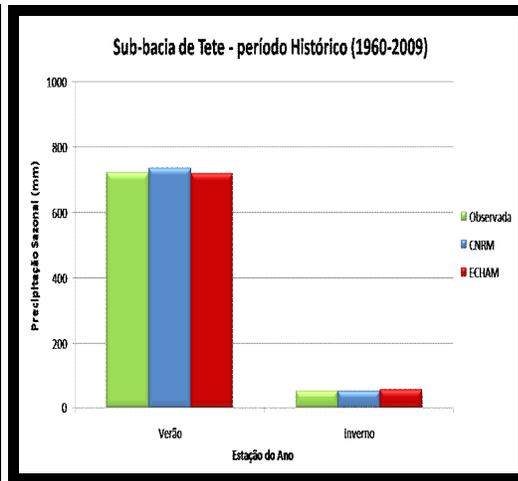


Figura 14- Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Tete (1960 ó 2009)

Fonte: O Autor (2013)

Na sub-bacia de Mutarara (figuras 15 e 16) nota-se um comportamento semelhante ao da sub-bacia de Tete, onde a época de verão apresenta volumes de precipitação consideravelmente altos, e o inverno com a precipitação muita baixa, tanto para os dados gerados pelos modelos como para os dados observados.

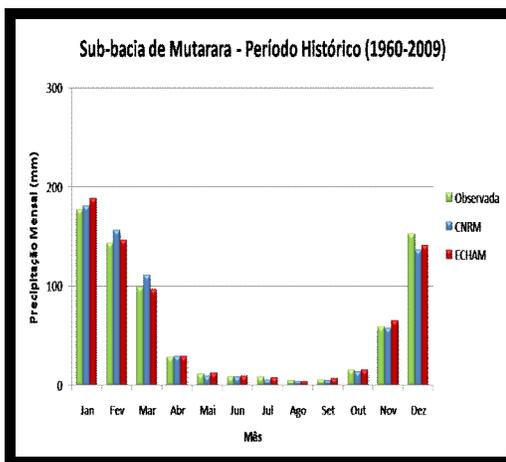


Figura 15 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Mutarara (1960 - 2009)

Fonte: O Autor (2013)

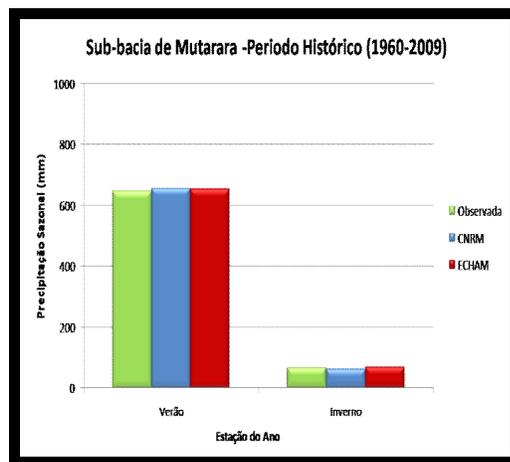


Figura 16- Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Mutarara (1960 ó 2009)

Fonte: O Autor (2013)

Na sub-bacia Delta (figuras 17 e 18), tanto os dados gerados pelos modelos como os dados observados, não apresentam muita discrepância entre eles, porém, nota - se um inverno não muito seco quando comparado com as outras sub-bacias.

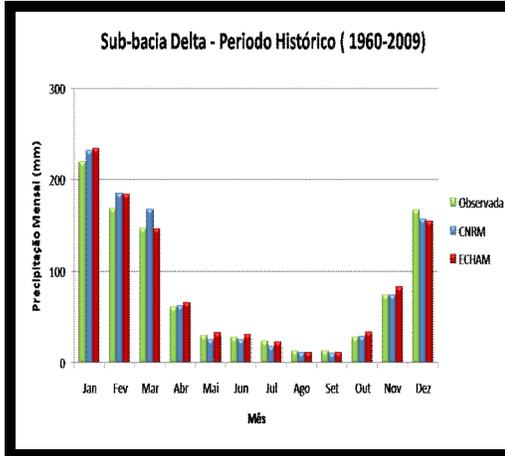


Figura 17 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia Delta (1960 -2009)
Fonte: O Autor (2013)

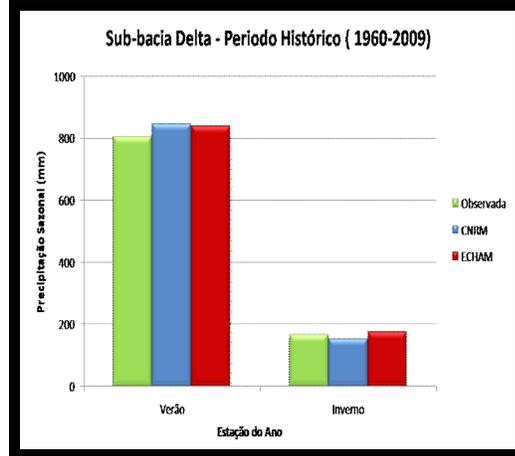


Figura 18 - Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia Delta (1960 ó 2009)
Fonte: O Autor (2013)

Nota-se no geral que em todas as sub-bacias não há muitas diferenças no comportamento da precipitação. Observando-se que em todas sub-bacias os meses de Dezembro a Março são os mais chuvosos e com precipitações muito altas. No entanto nota-se que o inverno é relativamente mais seco e mais prolongado quando comparado com o verão que é mais intenso e curto. Esses períodos de seca podem ser devido ao aumento da temperatura que proporcionam maior evaporação, pois, segundo o INGC (2009), verificam-se tendências significativas de aumento na temperatura na maior parte do país e em todas as estações do ano, com aumentos aparentes de até 1.6°C (entre 1960 e 2005) no Centro de Moçambique durante o Inverno, este aumento na temperatura pode ser atribuído às alterações climáticas globais.

4.5 Análise de Tendências Sazonais de Precipitação no Período Futuro (2010 - 2100)

Da análise da precipitação no período futuro de 2010 a 2100, observa-se através das figuras 19 e 20, que para a sub-bacia de Cahora Bassa os dados gerados pelos modelos não apresentam discrepância entre eles, sendo os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro com maior precipitação e os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro relativamente mais secos.

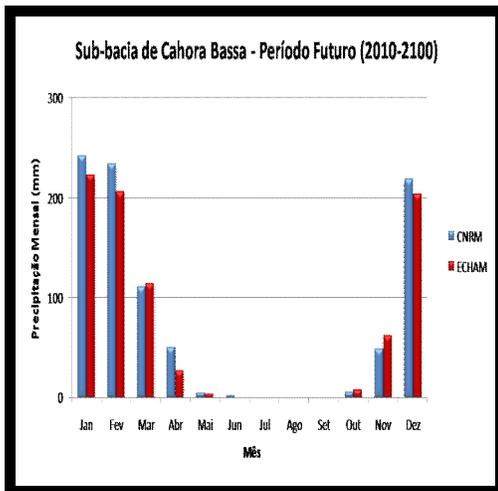


Figura 19 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Cahora Bassa (2010 - 2100)

Fonte: O Autor (2013)

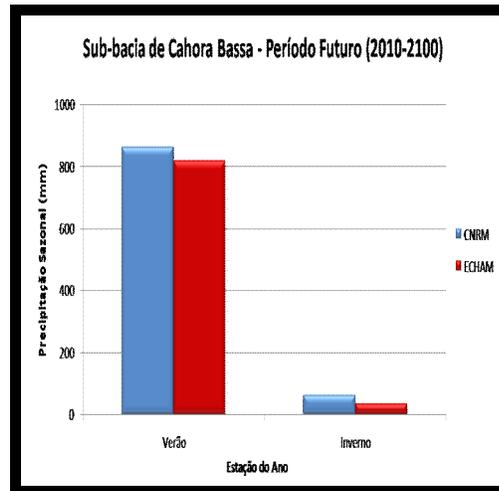


Figura 20 ó Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Cahora Bassa (2010 ó 2100)

Fonte: O Autor (2013)

Na sub-bacia de Tete (figuras 21 e 22), observa-se que o verão é a época do ano mais chuvosa e o inverno é mais seco.

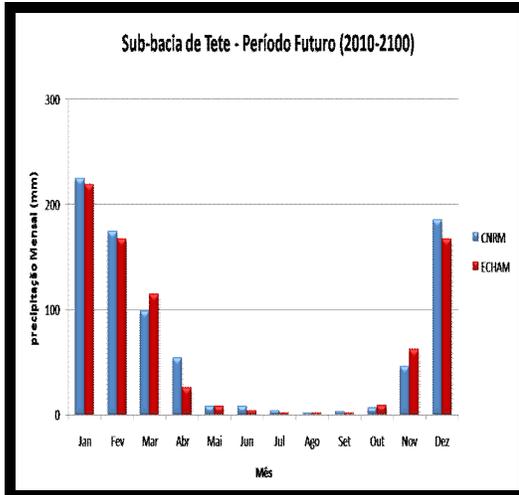


Figura 21 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Tete (2010 - 2100)

Fonte: O Autor (2013)

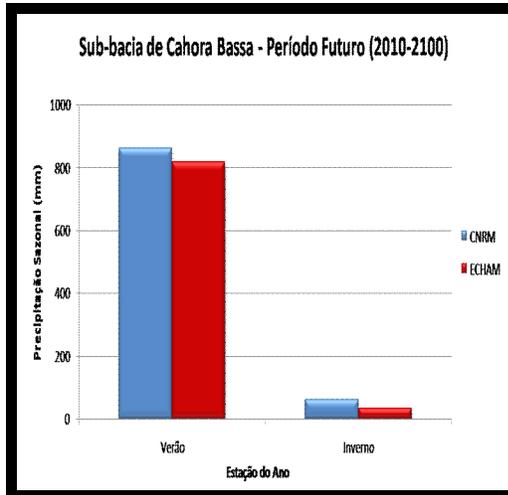


Figura 22 ó Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Tete (2010 ó 2100)

Fonte: O Autor (2013)

Para a sub-bacia de Mutarara (figuras 23 e 24), observa-se um cenário quase semelhante para os dados gerados pelos dois modelos, onde nos meses de verão apresentam precipitações altas sendo o mês de Janeiro o mais chuvoso.

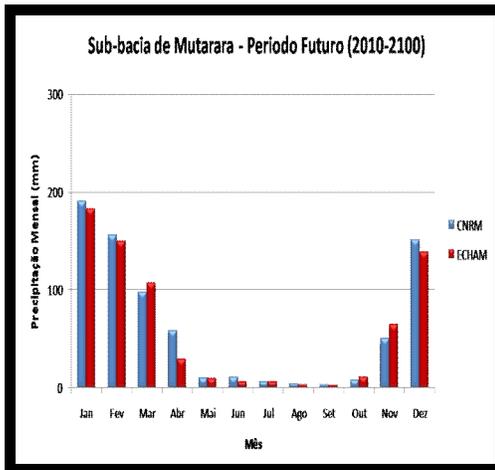


Figura 23 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia de Mutarara (2010 - 2100)

Fonte: O Autor (2013)

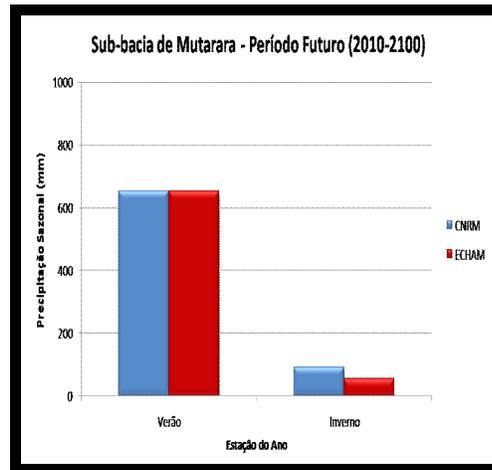


Figura 24 ó Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia de Mutarara (2010 ó 2100)

Fonte: O Autor (2013)

Observando os resultados apresentados para a sub-bacia Delta (figuras 25 e 26), nota-se que o verão é a época mais chuvosa, com todos os meses a registar uma precipitação consideravelmente alta, tendo o seu pico no mês de Janeiro. O inverno apresenta precipitações baixas, sendo o mês de Setembro o mais seco. Contudo, à semelhança do período Histórico, o inverno não apresentou precipitações muito baixas quando comparada com as outras sub-bacias.

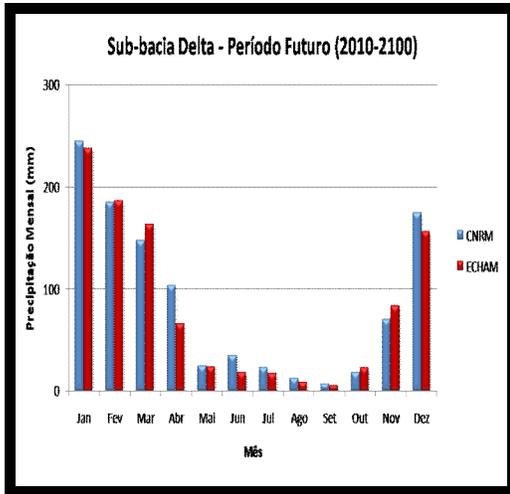


Figura 25 – Variação Sazonal da Precipitação Total Mensal na Sub-bacia Delta (2010 - 2100)
Fonte: O Autor (2013)

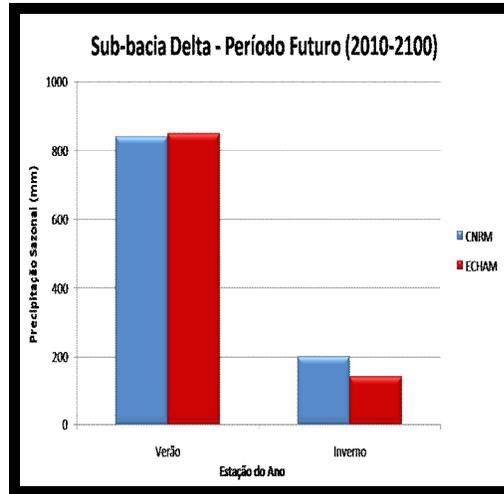


Figura 26 ó Variação Sazonal dos Totais de Precipitação nas duas Épocas do ano, na Sub-bacia Delta (2010 ó 2100)
Fonte: O Autor (2013)

De forma análoga ao período histórico nota-se para o período futuro, que os meses com maior precipitação são mais curtos e intensos, enquanto os meses de menor precipitação são mais prolongados, facto que pode ser justificado pelo aumento da temperatura, que resultam num aumento da evaporação. De acordo com o INGC (2009), durante a estação seca (Junho a Novembro), espera-se, que aumentos na evaporação sejam provavelmente maiores que a precipitação em todas as regiões de Moçambique, sugerindo-se para o futuro uma estação seca mais seca por volta de 2030 e mais intensificado por volta de 2060 e 2080 especialmente na região central.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

O ZDSS é uma ferramenta de análise que permite uma rápida avaliação dos impactos das alterações climáticas e desenvolvimento na bacia do Zambeze, permitindo ao utilizador que faça perguntas hipotéticas, tais como, mudanças no comportamento de variáveis climáticas, desenvolvimento de novos projectos de barragens ou de irrigação, ou mesmo mudanças nas regras de operação de um reservatório.

Neste trabalho esta ferramenta foi aplicada para análise da variabilidade da precipitação em quatro sub-bacias dentro do território moçambicano, das quais teve-se as seguintes conclusões:

- Analisando tendências anuais da precipitação no período histórico em series observadas e geradas pelos modelos, verificou-se que, em todas as sub-bacias em análise não há tendências significativas de aumento ou diminuição da precipitação. No entanto, no período futuro, para o modelo CNRM não se observou nenhuma tendência significativa de aumento ou diminuição da precipitação, enquanto para o modelo ECHAM pode-se observar que em todas sub-bacias há uma tendência de diminuição da precipitação. Esta discrepância entres os modelos pode ser atribuída a factores condicionantes de cada modelo.
- Quanto à sazonalidade, os dados observados como os gerados pelos modelos CNRM e ECHAM demonstram haver uma sazonalidade bem definida, isto é, mostram claramente, tanto no período histórico como no futuro, um aumento da precipitação no verão e uma diminuição da precipitação no inverno. Portanto, nota-se um inverno muito seco e prolongado e um verão muito chuvoso e curto.

Este facto poderá comprometer a disponibilidade hídrica e o escoamento fluvial na bacia, afectando consequentemente, a produção de energia, a produção

agrícola, a navegação como também a implementação de novas barragens. Por outro lado a distribuição irregular da precipitação poderá comprometer a defesa civil, principalmente em questões de aviso prévio, devido a ocorrência de eventos extremos como cheias e secas.

5.2 Recomendações

Actualmente, o grande desafio dos pesquisadores da área de gestão de recursos hídricos está no entendimento das causas que resultam nas alterações climáticas e na previsão dessas alterações num horizonte sazonal e anual. Assim sendo, em função dos resultados obtidos neste estudo, como contribuição para este grande desafio, principalmente em estudos sobre o impacto das alterações climáticas, recomenda-se:

- O uso da ferramenta ZDSS para análise de alterações climáticas usando outras variáveis climáticas inseridas no software.
- O uso da ferramenta ZDSS para análise de alterações climáticas tendo em conta outros cenários de desenvolvimento inseridos no software.
- Estender o estudo sobre sistemas de suporte a decisão para outras bacias da região centro e sul do País, e aplicar os resultados deste estudo e de outros estudos semelhantes na protecção e defesa civil.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Bacia do Zambeze (2011). INGC, UEM ó Departamento de Geografia e FEWS NET, MiND. (APRCDBZ).
2. Banco Mundial. (2010). A Bacia do Rio Zambeze. *Análise das Oportunidades de Investimento Multisectorial*. Volume 1.
3. Back, A. J. (2001). Aplicação de Análise Estatística para Identificação de Tendências Climáticas. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, V.36, n.5. p.717-726. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v36n5/5544.pdf>. Acesso em: Outubro de 2013.
4. Barros, V; Clarke, R; Dias P. S. (2011). *A Mudança do clima na Bacia do Prata. Projeto SGP II 057: Trends in the hydrological cycle of the Plata basin: Raising awareness and new tools for water management*. Instituto Inter-Americano para Mudanças Globais.
5. Benissene, V. M. (2002). *Manual para interpretação das previsões sazonais*. INAM, Beira 43pp.
6. Braga, B., Barbosa, S. F., Nakayama, P. T. (1998). *Sistemas de Suporte a Decisão em Recursos Hídricos*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 3.
7. Buchir, L. M. S. T. (2013). *Análise da Influencia de Mudanças Climáticas nas Precipitações*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de recursos Hidricos e Ambiental). Departamento de Hidráulica e Saneamento, Sector de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná.
8. Cambula, B. (2005). *Relação entre a variabilidade da precipitação, temperatura, altitude e casos de cólera em Moçambique*. Tese de Licenciatura em Meteorologia. Faculdade de Ciências, Departamento de Física. Universidade Eduardo Mondlane.
9. Carvalho, D. F. e Da Silva, L. D. B. (2006). *Hidrologia*.
10. Chenje, M. (2000). *Estado do Ambiente na Bacia do Zambeze 2000*. SADC/ IUCN/ ZRA/ SARDC, Maseru/ Lusaka/ Harare.
11. Cordeiro, A. M. R. (1987). *O Clima de Moçambique*. Coimbra, Portugal
12. Cunha, L. V.; Oliveira. R. e Nunes, V. B. (2002). *Impactos das Alterações Climáticas sobre os recursos Hídricos de Portugal*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

13. Dereczynski, C. P; Pristo, M. V. J; Chou, S. C; Cavalcanti, I. F. A; Rozante, J. R. (2010). *Avaliação das Previsões do Modelo Eta na Região da Serra do Mar (Estado de São Paulo)*. Anuário do Instituto de Geociências ó Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil. Disponível em: www.anuario.igeo.ufrj.br. Acesso em: Novembro de 2013.
14. Gafur, N.(2010). *Análise das Variáveis Climáticas e seu Impacto para a Segurança Alimentar: O Caso do Vale do Zambeze*. Trabalho de Licenciatura Engenharia Ambiental. Universidade Técnica de Moçambique. Maputo.
15. Georgakakos, A. P. (2004). *Decision Support Systems for Integrated water Resources Management with an Application to the Nilo Basin*. Gergia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, USA.
16. Haylock, M. R. *et al.* (2006). *Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature*. Journal of Climate. Volume 19.
17. INGC (2009). *Main report: INGC Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique*. [Asante, K., Brito, R., Brundrit, G., Epsstein, 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.
18. International Painel of Climate Change (2007). *Climate change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers*. Geneva: IPCC, 18 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>. Acesso em: Maio de 2013.
19. Kling H., Preishuber M. (2012). *Zambezi Decision Support System – User’s Manual* ãA web-based Decision Support System to analyze the impact of climate change and water resources development on runoff in the Zambezi basin.ö Vienna. Austria.
20. Lobo, J. (1999). *Contribuição para Variabilidade Climática em Moçambique, Influência do ENSO*. Tese de Licenciatura em Meteorologia. Faculdade de Ciências, Departamento de Física. Universidade Eduardo Mondlane.
21. Massequim, N. e Azevedo, T. (2010). *Interferência de fenômenos climáticos em culturas temporárias na Microrregião de Campo Mourão*.
22. Mattei, F. E. E. (2005). *Desenvolvimento e implementação de ferramentas SAD no Mediterrâneo*. Newsletter Nostrum-DSS.

23. Parry, M.L. (2000). *Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: the ACACIA Project*, Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Reino Unido.
24. Preston, R. A. e Tyson, P. D. (2004). *The weather and climate of Southern Africa*. Oxford University press, Cape Town.
25. Paulo, C. M. (2003). *Influência da duração da época chuvosa sobre os rendimentos do milho a Sul do Rio Save*. Tese de Licenciatura em Meteorologia. Faculdade de Ciências, Departamento de Física. Universidade Eduardo Mondlane.
26. Peterson, G. (2012). *Respondendo as mudanças climáticas em Moçambique: Tema 5: Água*. Maputo: INGC.
27. Pinto, N. L. S.; Holtz, A. C.T.; Martins, J.; Gomide, F. L. S. (2007). *Hidrologia Básica*. 10ª ed, São Paulo SP: Edgard Blucher LTd.
28. Queface, A. (2009). *Abordagem geral sobre desastres naturais e mudanças climáticas sobre Moçambique*.
29. Rennó, C. D. e Soares, J. V. (2000). *Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental*. Brasil.
30. Roque, G. D. (2012). *Influência do El Niño – Oscilação Sul (ENSO) na Variabilidade da Temperatura do ar na Zona Sul de Moçambique*. Tese de Licenciatura em Meteorologia. Faculdade de Ciências, Departamento de Física. Universidade Eduardo Mondlane.
31. Rodrigues, L.; Machado, C. (2004). *Multi-sectoral, integrated and operational decision support system for sustainable use of water resources at the catchment scale (MULINO)*. Newsletter Global IGBP Change.
32. Rojas, O. e Amade, J. (1996). *Estudo Agroclimático da Precipitação e sua Aplicação na Segurança Alimentar*. Maputo.
33. Santos, F.D. e Miranda, P.(2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de adaptação – Projecto SIAM II*, Gradiva.
34. SARCD ó IMERCSA. (1998). *Zambezi River Basin Series Factsheet*. SARDC, Harare.
35. Silva, H. S. (2007). *Reflexões Sobre Aspectos Físicos, Sociais, Económicos e Ambientais da Bacia do Zambeze*, Edição HCB.
36. Steinke, E. T. (2004). *Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande*

Trabalho de Licenciatura em Meteorologia. UEM/ Dpto de Física. Sheila Orquídia Tinga

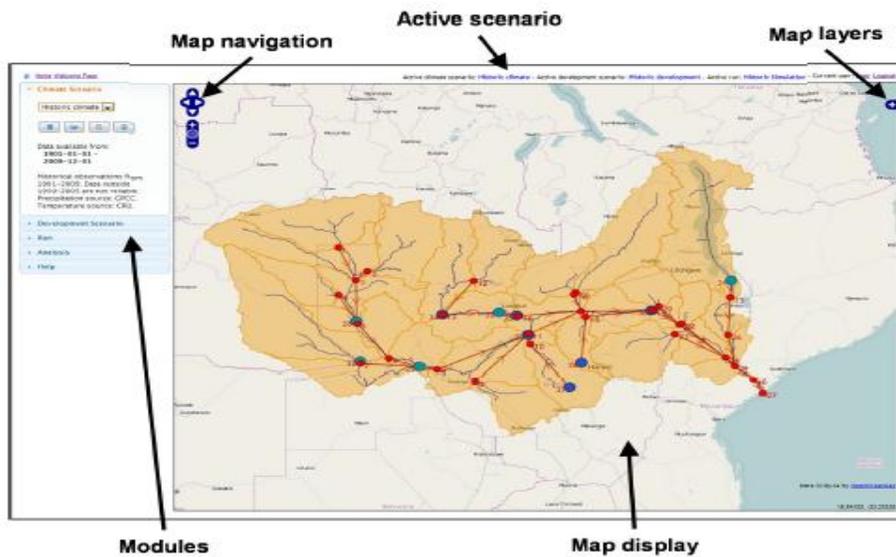
- público*. Tese (Doutorado), publicação ECO.TD, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: Disponível em: http://vsites.unb.br/ib/ecl/docentes/saito/tese_dout_ercilia_t_steinke.pdf. Acesso em: Novembro de 2013.
37. Tucci, C. E. M. (2002). *Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos*. Brasília: ANA. Relatório técnico. Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/corpo docente/tucci/publicacoes/relclima.PDF>. Acesso em: Novembro de 2013.
38. Turban, E. e Aronson, J. E. (1998). *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. 5.ed. USA, Prentice Hall,
39. Vieira, J. M. P. (2000). *Sistemas de Apoio à Decisão na Gestão de Recursos Hídricos*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. Azurém, Guimarães. Portugal.
40. Zorzal, R. (2009). *Sistema de Suporte à Decisão para Análise de Outorga de Lançamento de Efluentes de Fontes Pontuais em Rios*. Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental.

Apêndices

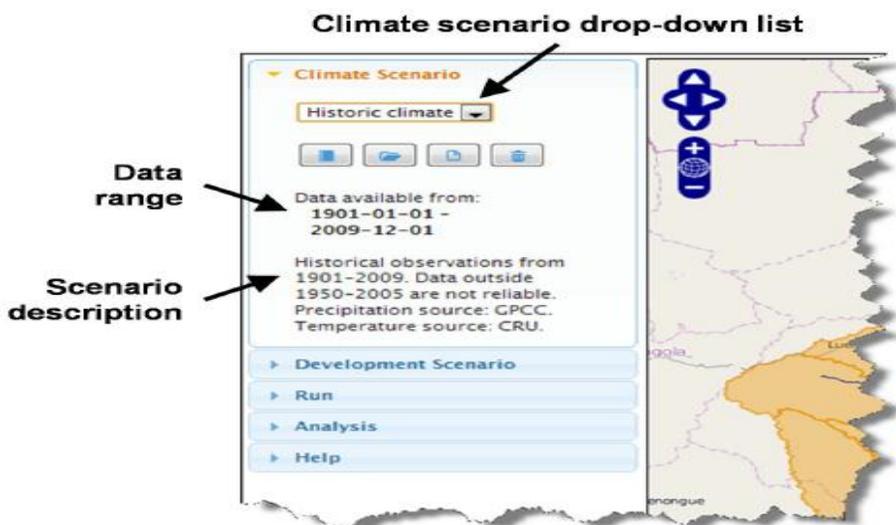
Apêndice I - Guião para Uso do ZDSS

Este guia de início rápido explica os principais passos para a execução e análise de uma simulação com o DSS. Ele deve levar o usuário apenas alguns minutos.

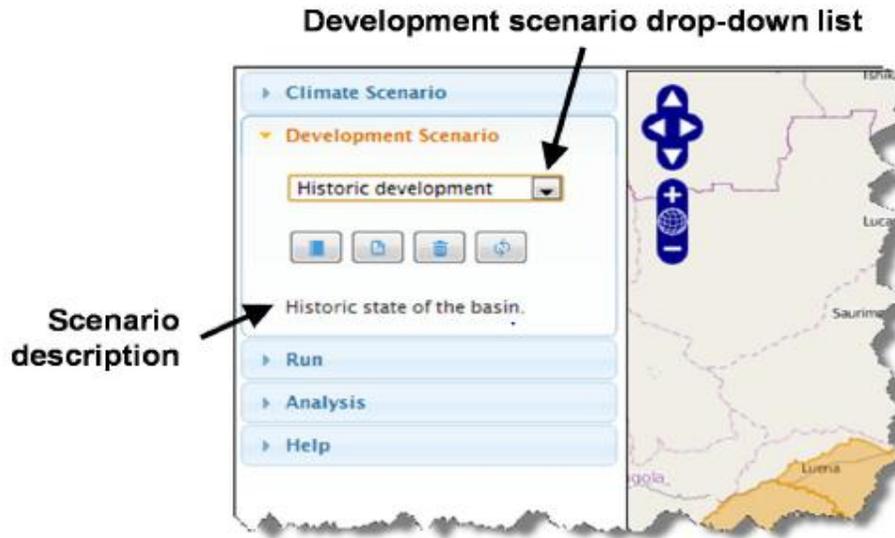
Passo 1: Entrar no interface principal ó aqui tem a representação do mapa da bacia do Zambeze, indicação dos módulos climático, desenvolvimento, execução e análise e outras ferramentas para auxílio na navegação.



Passo 2: Seleccionar o cenário climático



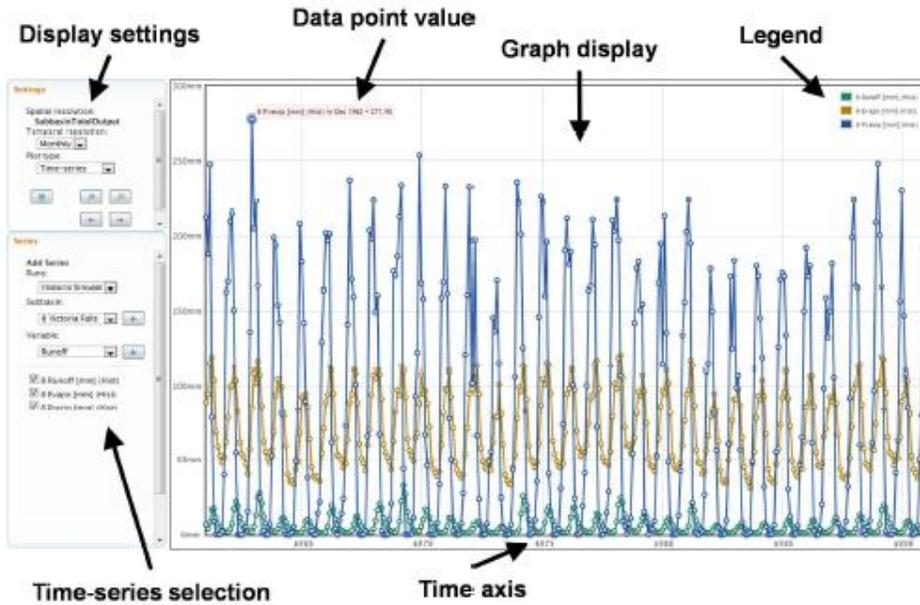
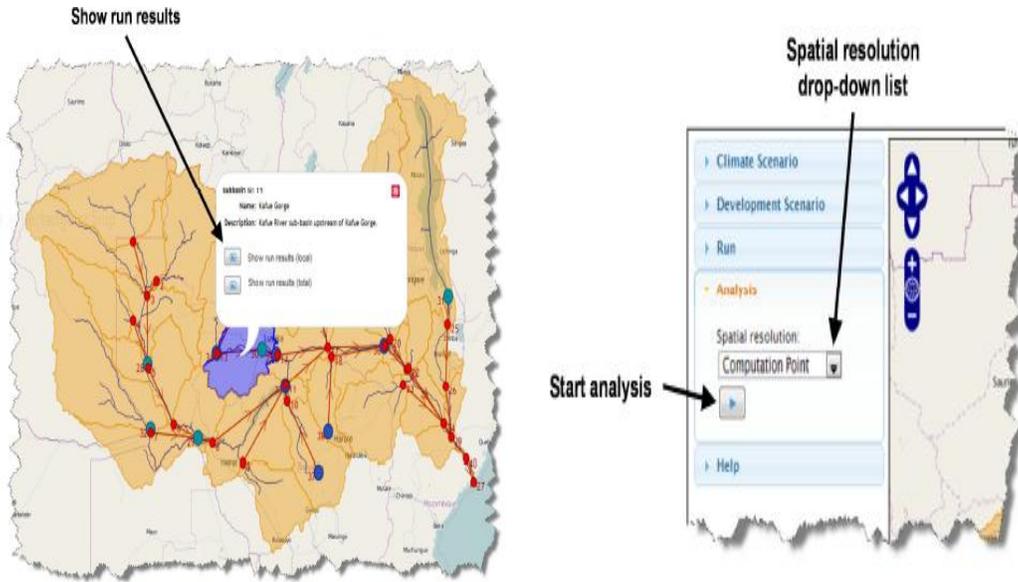
Passo 3: Seleccionar cenário de desenvolvimento



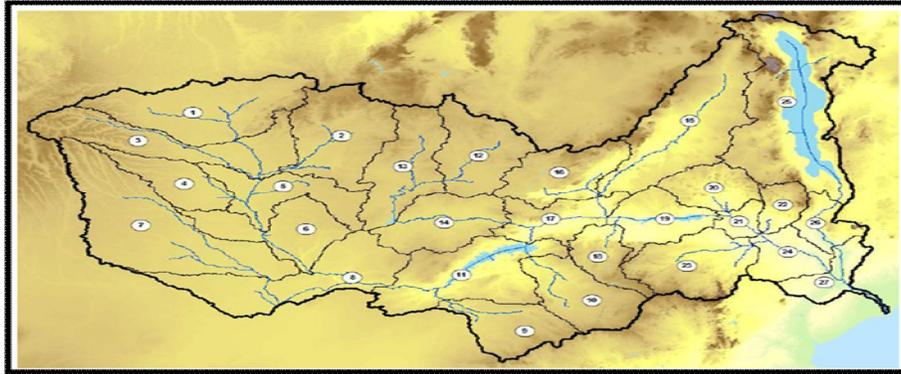
Passo 4: Executar uma simulação ó criando primeiro uma nova execução (create new run), definir o período de simulação entrando na janela editar propriedades (edit proprieties) e depois iniciar execução (start run).



Passo 5: Visualização dos resultados da simulação e análise dos resultados ó A visualização pode ser feita seleccionando elementos do mapa (sub-bacias).



Apêndice II ó Representação e Descrição das Sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Zambeze.



Número	Nome da Sub-bacia	Área local (Km2)	Área total (Km2)
1	Chavuma Mission	79821.3	79821.3
2	Kabombo	66459.9	66459.9
3	Lukulu	66345.1	212626.3
4	Luanginga	32989	32989
5	Senanga	42938.7	288554
6	katima Mulilo	46328.9	334882.9
7	Kwando	113501.2	113501.2
8	Victoria Falls	71014.6	519398.7
9	Gwaai	39117.8	39117.8
10	Sanyati	45340.5	45340.5
11	Kariba	73107.2	676964.2
12	Mswebi	51043.4	51043.4
13	Itezhitezhi	55526.7	106570.1
14	Kafue Gorge	46167	152737.1
15	Upper Luangwa	96838.2	96838.2
16	Lower Luangwa	45209.7	142047.9
17	Middle Zambezi	33223.2	1004972.4
18	Panhane	24404.3	24404.3
19	Cahora Bassa	35036.1	1064412.8
20	Luia	28698.6	28698.6
21	Tete	10281.2	1103392.6
22	Revubue	16262.7	16262.7
23	Luenha	53581.2	53581.2
24	Mutarara	26166.7	1199403.2
25	Liwonde	132277.7	132277.7
26	Chiromo	19259.1	151536.8
27	Delta	22246.4	1373186.4

Apêndice III - Ocorrência dos Fenômenos La Niña e El Niño em Diferentes Épocas do Ano.

La Niña - quando o índice de temperatura de superfície do Oceano Pacífico é menor ou igual a $-0,5^{\circ}\text{C}$. **El Niño** - quando o índice de temperatura da superfície do Oceano Pacífico é maior ou igual a $+0,5^{\circ}\text{C}$. fase Neutra - quando o índice de temperatura da superfície do Oceano Pacífico encontra-se no intervalo de -0.5 a $+0.5^{\circ}\text{C}$ (NOAA, 2011). De acordo com o NOAA (2011), episódios El Niño (Vermelho) e La Niña (Azul) são considerados quando ocorrem pelo menos cinco (5) vezes consecutivas nas estações do ano.

Ano	DJ F	JF M	FM A	MA M	AM J	MJ J	JJ A	JA S	AS O	SO N	ON D	ND J
1974	-1.9	-1.6	-1.2	-1	-0.8	-0.7	0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.7
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-1	1.1	-1.2	-1.4	-1.5	-1.6	-1.7
1978	0.8	0.5	0.1	-0.2	-0.8	-1.2	1.3	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-1.9
1986	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.3	1.2	1.1	1	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1
1989	-1.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1991	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1	0.7	0.3	0	-0.2	-0.3	-0.2	0
1999	-1.5	-1.3	-1	-0.9	-0.9	-1	-1	-1.1	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.5	-1.2	-0.9	-0.8	-0.7	0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3

Fonte: Centro de Previsão Climática do NCEP/NO. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Apêndice IV ó Precipitação Total Anual (mm) - Séries Observadas e Geradas (1960-2009)

Período Histórico (1960-2009) -Sub-bacia de Cahora Bassa

ANO	observada	CNRM	ECHAM	ANO	Observada	CNRM	ECHAM
1960	621.2	1190.5	837.7	1996	819.7	1018.1	1102.9
1961	803.1	970.9	1035.3	1997	1079.1	663.3	934.2
1962	1155.1	740.2	956.5	1998	720.9	1007.8	719.4
1963	773.2	871.3	814.5	1999	768.6	1026.9	576
1964	694.6	898.9	1056.9	2000	962.1	825.1	799.4
1965	696.1	754.2	921.4	2001	1008.3	737.4	1005.3
1966	778.7	1000.2	894.4	2002	571.4	820.8	425.2
1967	888.4	875.8	722.1	2003	700.3	911.7	814.2
1968	781.1	760	743.5	2004	851.7	731.3	886.6
1969	983.9	974.2	674.1	2005	572.8	1275.7	633.8
1970	564	1112.7	937.6	2006	802.2	966.2	982.8
1971	796.2	829.8	1138.6	2007	926.5	460.4	736.9
1972	693.9	675.9	592.9	2008	960.1	1046.8	878.6
1973	902.4	683.1	1001	2009	693.5	1181	785.4
1974	1328.8	804.3	914.2				
1975	760.8	797.2	927.7				
1976	920.5	585.2	856.2				
1977	727.9	1061.5	583.8				
1978	1143.5	927.1	583.7				
1979	641.4	885.4	808.4				
1980	804.5	695.7	849.5				
1981	1025.8	771.7	903.1				
1982	722.9	932.6	837.5				
1983	717	938.5	915.1				
1984	748	861.6	666.3				
1985	967.8	1029.2	617.9				
1986	957.1	735.7	737				
1987	510.8	532.8	1065.7				
1988	828.9	761.4	728.9				
1989	1115.1	895.6	826.9				
1990	830	899.4	950.2				
1991	618.1	638.9	1046.3				
1992	602	920.1	1015.3				
1993	832.1	699.7	1002.2				
1994	729.4	807.5	721.3				
1995	511.3	1027.6	802				

Período Histórico (1960-2009) - Sub-bacia de Tete

Ano	Observada	CNRM	ECHAM
1960	648.3	1001.1	760.8
1961	725.8	802.1	912
1962	911.9	710.2	824.6
1963	764.4	799.4	739.2
1964	638.4	829.5	1003.4
1965	754.9	770.1	862.3
1966	643.1	1001.1	867.8
1967	785.6	744.8	620.4
1968	709.3	655.9	661.6
1969	865.5	941.4	654.4
1970	684.2	1055.3	924.5
1971	827.4	817.9	1080.6
1972	617.1	597.6	556.8
1973	843.1	681	886.1
1974	1188.7	656.6	848.6
1975	697.3	700.3	798.1
1976	741.8	613.1	727.6
1977	757.6	1004.4	497.7
1978	1008.6	813.8	497.1
1979	546.3	787	707.5
1980	671.5	589.2	709.5
1981	599.7	646	792.7
1982	718.9	830.4	741.9
1983	496.3	872.3	896.9
1984	920.5	747.4	606.6
1985	818.5	910.2	539.6
1986	809.3	697.9	649
1987	556	458.3	934.2
1988	784.6	550.6	675.5
1989	991.7	789.7	699.7
1990	743.5	747.2	905.8
1991	663.1	540.4	907
1992	499.7	822.2	926.2
1993	772.6	619.4	973.5
1994	525.9	673.7	641.1
1995	691	923.7	775.9
1996	695.9	909.5	1048.8
1997	1191.1	684.9	935.1
1998	631.2	1012.8	600.7
1999	769.6	830.8	462

Ano	Observada	CNRM	ECHAM
2000	882.3	714.1	733.5
2001	1413.3	687.7	987.4
2002	426.9	660.2	352.7
2003	765.9	749.6	749.1
2004	984.5	657.7	857.7
2005	663.1	1075.4	575.3
2006	589.6	818.4	911
2007	777.3	417.2	778.2
2008	859.2	950.3	753.7
2009	748.7	990.5	779.4

Período Histórico (1960-2009) -Sub-bacia de Mutarara

Ano	Observada	CNRM	ECHAM	Ano	Observada	CNRM	ECHAM
1960	680.1	835.1	738.5	2000	882.8	675.2	806.8
1961	535.9	724.3	765.9	2001	1237.3	659.8	918.3
1962	1052.1	733.3	814.6	2002	470.7	608.9	362.4
1963	622.4	686.1	630.6	2003	617.9	743.2	667.1
1964	625.3	734.6	952.8	2004	832.6	567.6	801.2
1965	630.5	714.8	744	2005	549.7	888.7	539.6
1966	668.7	918.8	832.7	2006	458.4	706.4	783.4
1967	727	692.1	682.7	2007	747.8	362.9	765.8
1968	579.1	588.8	656.6	2008	749.2	903.2	725
1969	882.2	879	652	2009	621.7	890.2	683.2
1970	560.2	984.6	836.8				
1971	627.4	761.9	918.1				
1972	577	553.5	508.3				
1973	718.3	633.1	696.4				
1974	863.8	649	796.7				
1975	598.4	598.7	710.2				
1976	781.6	584.5	630.2				
1977	699.4	896.6	465.1				
1978	837.4	710.6	511.3				
1979	519.8	709.5	618.9				
1980	632.3	585	689.3				
1981	585.2	546.9	698.5				
1982	767.5	675.2	692.4				
1983	488.8	870.4	851.5				
1984	817.5	687.9	502.9				
1985	934.2	779.5	530.8				
1986	780.8	748.3	663.7				
1987	435.3	445.6	809				
1988	872.5	485.9	619.9				
1989	1028	714.5	671.8				
1990	540.7	694.9	834.5				
1991	550.1	489.4	817.3				
1992	364.2	731	885.2				
1993	699.5	609.4	823.4				
1994	419.4	592.9	593.3				
1995	713.8	850.4	771.8				
1996	740.5	815.6	891.7				
1997	1206.3	604.9	867.4				
1998	587.7	852.7	510.3				
1999	744.6	718	380				

Período Histórico (1960-2009) - Sub-bacia Delta

Ano	Observada	CNRM	ECHAM
1960	806.2	1014.2	1140.3
1961	1043.7	992.7	963.5
1962	1398.2	1149.7	1131.5
1963	1095.1	902.9	860
1964	864	971.1	1191.7
1965	949.4	1002.9	1058.7
1966	951	1191.2	1173.9
1967	1056.5	1006.2	1085.7
1968	815.9	863.4	946.3
1969	1118.1	1170.7	1011.3
1970	876.8	1247.8	1184.3
1971	778.9	1110.4	1131.1
1972	757.9	770.1	820.3
1973	963.8	875.5	952.8
1974	1117.1	1005.4	1227.4
1975	776.7	795.4	991.4
1976	1083.3	943.4	809.6
1977	801.7	1108.6	674.4
1978	918	942.1	749.3
1979	800.2	985.1	842.4
1980	897.9	829.5	996.6
1981	860.5	718.7	957.9
1982	1045.5	924.3	1024.4
1983	707.1	1213.1	1216.7
1984	1081.2	962.2	645
1985	1216.2	1093.1	804.1
1986	1167	1141.3	950.3
1987	665.1	673.1	1055.6
1988	1337.8	804.2	842.4
1989	1466.3	972.8	957.6
1990	770.8	1015.7	1125.8
1991	707.6	727.4	1126.2
1992	472.6	1018.8	1210.7
1993	859.5	939.7	1211.9
1994	687	842.3	866.4
1995	886.3	1197.6	1126.1
1996	1121.9	1076.1	1038.1
1997	1338.6	758.7	1210.2

Ano	Observada	CNRM	ECHAM
1998	947.1	1076.2	710.6
1999	1044.3	1013.9	494.3
2000	1194	1008.6	1307.3
2001	1380.8	957.4	1221
2002	742.3	954.6	564
2003	882	1073.9	978.8
2004	908.2	765.4	1095.1
2005	799.8	1104.6	796.2
2006	662.3	935.7	1090
2007	1254.9	569.3	1147.4
2008	815.7	1306.2	1049.8
2009	705.1	1186.8	883.1

Apêndice V ó Precipitação Total Anual (mm) ó Séries Geradas (2010-2100)

Período Futuro (2010-2100) - Sub-bacia de Cahora Bassa

Ano	CNRM	ECHAM	Ano	CNRM	ECHAM	Ano	CNRM	ECHAM
2010	862	905	2049	737.5	808.2	2088	847.9	877
2011	1200.7	717.7	2050	705.9	613.7	2089	887.3	464
2012	1107.5	868.1	2051	741.4	812.9	2090	838.7	723.9
2013	948	924	2052	779.1	1007.3	2091	774.3	902.7
2014	843.2	928.7	2053	772.4	966.8	2092	993.3	783.8
2015	982.6	670.3	2054	1054.3	693.5	2093	896.3	859.4
2016	776.2	1072.1	2055	1204.4	995.2	2094	822.4	765.8
2017	897.6	644	2056	849.3	905.4	2095	839.2	948.4
2018	855.9	1085.5	2057	858.7	853.1	2096	1054.7	616.4
2019	620.7	751.8	2058	630.2	1041.2	2097	921.6	917.1
2020	1042.7	810.6	2059	911.4	886.5	2098	960.3	1106.1
2021	1177.4	703.9	2060	1026.5	785.4	2099	957.7	616.5
2022	885.7	1086.4	2061	854.6	770.4	2100	940.9	816.5
2023	758.7	1114.7	2062	744.3	936			
2024	1155.5	789	2063	823.4	649.9			
2025	611.8	736.3	2064	1139.8	1141.9			
2026	1029	983.7	2065	790.9	817.7			
2027	902.8	698.8	2066	848.5	486.8			
2028	894	668.3	2067	936.5	918.5			
2029	923.9	1032	2068	886.1	882.5			
2030	1131.5	1043.4	2069	886.1	468.5			
2031	1069.7	889.8	2070	747.5	691			
2032	997.9	1077.1	2071	1116.9	1161.5			
2033	965.9	833	2072	1072.4	869			
2034	894.8	1193.9	2073	819.5	1284.2			
2035	899.9	841.5	2074	1021.1	577.3			
2036	708.2	1011.6	2075	885.5	993.3			
2037	720.3	541.8	2076	720.9	642.5			
2038	999.3	744.8	2077	1040.7	696.4			
2039	988.8	822	2078	943.5	777.6			
2040	1046.8	828.3	2079	1060.7	1181.1			
2041	852.5	626.6	2080	818.9	581.3			
2042	921.8	976.7	2081	739.2	763.7			
2043	707.7	825.1	2082	911.6	608.1			
2044	930.6	850.2	2083	1261	778.3			
2045	707.4	806.8	2084	1226	679.1			
2046	783.1	892.1	2085	1349.8	624.2			
2047	1019.5	795	2086	806.8	872.8			
2048	878	946.6	2087	899.1	1309.5			

Período Futuro (2010 -2100) - Sub-bacia de Tete

Ano	CNRM	ECHAM	Ano	CNRM	ECHAM	Ano	CNRM	ECHAM
2010	827.8	920.2	2049	696	846.6	2088	777.9	687.7
2011	1034.9	641	2050	686.2	514.8	2089	683.3	355
2012	903.1	782.4	2051	650.1	836.4	2090	702.7	669.4
2013	789.7	783.1	2052	675.3	1134.7	2091	635.5	1004.8
2014	788.5	885.4	2053	580.9	760.5	2092	868.3	736.1
2015	904.4	602.5	2054	986	593.5	2093	771.7	801.3
2016	644.4	1087.6	2055	1208.7	893.2	2094	738.5	622.3
2017	754.4	409.7	2056	822.5	807.2	2095	740	944.4
2018	790.7	987.4	2057	725.4	823	2096	827.6	565.9
2019	631	758.2	2058	472.6	1034.3	2097	854.3	954.7
2020	805.6	793.2	2059	747.5	782.3	2098	922.7	1127.5
2021	909.3	690.5	2060	899	697	2099	821.4	446.3
2022	792	1017.1	2061	712.3	677.9	2100	958.8	709.7
2023	679.9	1202.1	2062	651.2	763.6			
2024	980.7	673.4	2063	858.3	622.4			
2025	519.6	728.9	2064	1061.5	1061.6			
2026	902	899.7	2065	768	750.6			
2027	781.1	617.6	2066	794.4	403.7			
2028	734	618.6	2067	878.3	826.8			
2029	827.8	909.5	2068	834.8	673.5			
2030	976.2	961.3	2069	760.4	377.1			
2031	923.3	879.8	2070	707.2	634.8			
2032	965.7	871.1	2071	941.7	1000.8			
2033	747.4	764.4	2072	1011.3	761.7			
2034	808.9	1127.2	2073	663.7	1065.6			
2035	852.4	661.7	2074	990.9	509.5			
2036	700.6	854	2075	812.8	970.3			
2037	564.2	470.7	2076	592.8	541.4			
2038	1062.8	653.3	2077	828.9	671.5			
2039	823.9	685.5	2078	728.7	903.9			
2040	948.7	771.9	2079	873.7	1093.4			
2041	810.9	476.6	2080	706.7	509.6			
2042	718	816.5	2081	702.1	688.2			
2043	589.6	794.9	2082	729.8	708.6			
2044	847.9	780.9	2083	1162.7	729.1			
2045	668	692.7	2084	1100.8	614.6			
2046	763.7	808.7	2085	1236.1	668.1			
2047	762.8	791.8	2086	749.7	675.4			
2048	707.5	852.3	2087	772.5	1279.8			

Período Futuro (2010 -2100) - Sub-bacia de Mutarara

Ano	CNRM	ECHAM	Ano	CNRM	ECHAM	Ano	CNRM	ECHAM
2010	759.8	858.9	2049	682.8	800.2	2088	759.5	572.1
2011	929.1	589.3	2050	746	423.1	2089	595.6	350.6
2012	727.7	735.3	2051	625	800	2090	593.4	678.7
2013	713.3	793.2	2052	633.1	1152.2	2091	589	860.6
2014	779.2	846.3	2053	528.7	553.8	2092	804.8	735
2015	848.2	588.3	2054	832	564	2093	734.6	699.7
2016	562.9	1013.1	2055	1062.7	806.6	2094	686.4	533.8
2017	639.6	362.6	2056	862.1	761.6	2095	729.7	787.7
2018	745	901.9	2057	671	758.2	2096	703.3	528.8
2019	583.7	818	2058	396.9	892.1	2097	699.1	925.6
2020	728.6	758.2	2059	608.9	675.4	2098	918.4	1028.6
2021	793.9	622	2060	871.1	649.7	2099	732.8	393.9
2022	734.8	906.5	2061	676.2	574.4	2100	888.5	579.2
2023	626.9	1076.5	2062	576.4	689.8			
2024	810.6	590.3	2063	851.2	565.2			
2025	470	703.8	2064	932.6	875.7			
2026	877.1	750.5	2065	744.5	676.5			
2027	698.2	538.3	2066	766.1	401.3			
2028	562.4	500.6	2067	813.9	681.6			
2029	799.4	843.6	2068	786.7	626.5			
2030	801.9	864	2069	695.1	340.5			
2031	757	749.2	2070	648.1	619.8			
2032	888.6	784.4	2071	847.2	828.3			
2033	641.9	658.4	2072	933.6	697.2			
2034	803.7	1003.8	2073	577.9	822.7			
2035	724.9	625	2074	959.1	570.6			
2036	743.5	798.8	2075	850.3	821.3			
2037	498.6	469.5	2076	488.7	486.4			
2038	1076.2	593.6	2077	741.3	586.3			
2039	836.9	626.7	2078	607.9	920			
2040	932.9	698.6	2079	687.2	965.3			
2041	784.9	477.7	2080	644.7	494.9			
2042	612.3	715.7	2081	627.6	606			
2043	559.9	729	2082	583.3	706			
2044	768.9	758.9	2083	1044.2	534.2			
2045	632.5	608.4	2084	1074.4	551.1			
2046	700.9	699.6	2085	1011	678.6			
2047	637.4	710.3	2086	758.2	570.4			
2048	680.7	870.1	2087	777.4	1188.3			

Período Futuro (2010-2100) - Sub-bacia Delta

Ano	CNRM	ECHAM	Ano	CNRM	ECHAM	Ano	CNRM	ECHAM
2010	993.3	1202.3	2049	1024.5	1109.6	2088	1068.2	847.6
2011	1245.5	847.7	2050	1302.6	613.4	2089	798.2	533.5
2012	973.2	992.8	2051	847.2	1200.5	2090	763.3	1042.7
2013	1054.8	1108.2	2052	902.4	1782.6	2091	890.7	1157.6
2014	1149.4	1157.5	2053	778.3	671	2092	1131.8	1087.1
2015	1182.3	826.5	2054	1027.8	902.1	2093	1038.1	984.5
2016	770.3	1330.9	2055	1326	1191.2	2094	977.1	771.4
2017	925.1	596.7	2056	1199.5	1071	2095	1134.3	1012.9
2018	1087.5	1236.4	2057	931.1	1119.2	2096	935.2	781.9
2019	809.8	1252.2	2058	582	1142.9	2097	958.8	1307.6
2020	1081.7	1040.9	2059	868.1	875.5	2098	1238.2	1358.5
2021	1122.9	910.5	2060	1201.9	924.6	2099	984.4	634
2022	1122.4	1362.3	2061	1025.8	816.7	2100	1270.8	710.9
2023	897.9	1418	2062	878.8	964.2			
2024	964.6	792.1	2063	1179.8	856.1			
2025	669.5	1035.9	2064	1282.9	1106			
2026	1256.4	988.2	2065	1073.7	1044.2			
2027	1027.2	716.2	2066	1132.3	611.1			
2028	675.5	644.9	2067	1110.4	894.1			
2029	1149.3	1198.8	2068	1160.3	983.9			
2030	954	1137	2069	1056.5	512.1			
2031	1012.6	1072.3	2070	862.5	952.8			
2032	1264.6	1066.4	2071	1075.7	1158.4			
2033	870.5	892.3	2072	1192.1	1015.1			
2034	1193.9	1308.8	2073	817.9	997.6			
2035	843.6	895.6	2074	1373.2	789.7			
2036	1078.4	1029.4	2075	1271.2	1082			
2037	819.1	628.2	2076	622.5	664.3			
2038	1468.6	779.9	2077	1061.4	758.6			
2039	1277.2	799.3	2078	847.8	1349			
2040	1335.6	990.1	2079	872.6	1317.5			
2041	1095.7	804.7	2080	949.3	711.6			
2042	795.7	918.3	2081	896.3	817.8			
2043	872.5	970.7	2082	806.7	926.9			
2044	1062.8	1040.4	2083	1398.5	615.9			
2045	930.7	750.7	2084	1538.9	728.3			
2046	1016.1	967.2	2085	1306	1075.2			
2047	884.6	1007	2086	1082.9	805.2			
2048	1036.7	1369.1	2087	1156.9	1639.1			

Apêndice VI ó Totais Mensais e Sazonais de Precipitação (mm) no Período Histórico (1960-2009)

Período Histórico (1960-2009) - Sub-bacia de Cahora Bassa

Mês	Observada	CNRM	ECHAM
Jan	220.94694	223.39796	234.46327
Fev	185.70408	216.48571	193.30408
Mar	108.75306	125.53673	103.44286
Abr	29.420408	25.938776	27.326531
Mai	4.5612245	4.9469388	6.9877551
Jun	2.2734694	1.9816327	1.5653061
Jul	1.5489796	1.2061224	1.5346939
Ago	0.8244898	0.9040816	0.9755102
Set	1.8489796	3.0612245	6.1326531
Out	10.532653	8.1408163	9.9081633
Nov	62.677551	60.757143	64.091837
Dez	199.74082	209.66122	206.72449

Estação do ano	Observada	CNRM	ECHAM
Verão	788.3551	843.9796	811.9347
Inverno	40.47755	38.03878	44.52245

Período Histórico (1960-2009) - Sub-bacia de Tete

Mês	Observada	CNRM	ECHAM
Jan	211.5	212.29592	215.63469
Fev	153.397959	171.87347	155.62041
Mar	103.061224	111.97551	101.84898
Abr	29.9163265	27.326531	27.304082
Mai	6.79795918	8.055102	11.416327
Jun	7.22040816	6.8571429	6.6632653
Jul	5.55918367	3.7020408	2.9877551
Ago	2.4122449	1.9530612	1.9591837
Set	2.13265306	4.322449	6.7530612
Out	11.9285714	9.9693878	11.236735
Nov	64.6653061	57.306122	64.102041
Dez	177.340816	171.30816	170.56327

Estação do ano	Observada	CNRM	ECHAM
Verão	721.8939	734.7286	719.0061
Inverno	54.03878	52.21633	57.08367

Período Histórico (1960-2009) - Sub-bacia de Mutarara

Mês	Observada	CNRM	ECHAM
Jan	176.732653	180.76327	187.90204
Fev	143.312245	156.06327	146.39592
Mar	98.4632653	111.22449	96.389796
Abr	28.4979592	29.322449	29.244898
Mai	11.0795918	9.4040816	12.130612
Jun	8.70408163	8.3816327	9.3857143
Jul	8.11836735	5.2469388	7.8265306
Ago	4.65510204	3.7367347	3.5244898
Set	5.11428571	4.6979592	6.5979592
Out	15.5857143	13.477551	15.297959
Nov	59.1081633	57.640816	65.342857
Dez	152.130612	136.23265	140.77551

Estação do ano	Observada	CNRM	ECHAM
Verão	645.3327	655.402	652.1041
Inverno	66.16939	60.7898	68.7102

Período Histórico (1960-2009) - Sub-bacia Delta

Mês	Observada	CNRM	ECHAM
Jan	220.10816	232.39592	235.11224
Fev	168.65306	185.51224	184.62857
Mar	147.39184	168.16735	146.1898
Abr	60.491837	62.328571	65.52449
Mai	29.122449	25.6	33.093878
Jun	28.010204	25.163265	31.387755
Jul	23.565306	18.104082	22.553061
Ago	13.018367	10.957143	11.677551
Set	12.628571	10.202041	11.463265
Out	27.506122	28.887755	33.836735
Nov	73.902041	73.734694	83.179592
Dez	166.98776	157.1102	154.60816

Estação do ano	Observada	CNRM	ECHAM
Verão	804.549	845.8082	837.5551
Inverno	166.8367	152.3551	175.7

Apêndice VII ó Totais Mensais e Sazonais de Precipitação (mm) no Período Futuro (2010-2100).

Período Futuro (2010-2100) - Sub-bacia de Cahora Bassa

Mês	CNRM	ECHAM
Jan	241.8478	222.8922
Fev	234.0922	206.14
Mar	111.0522	114.0744
Abr	50.35556	27.19889
Mai	5.008889	3.857778
Jun	2.516667	0.916667
Jul	1.423333	0.87
Ago	0.731111	0.664444
Set	2.087778	1.103333
Out	6.031111	8.111111
Nov	49.19444	62.67
Dez	218.51	203.3578

Estação do ano	CNRM	ECHAM
Verão	860.7278	817.2456
Inverno	62.12333	34.61111

Período Futuro (2010-2100) - Sub-bacia de Tete

Mês	CNRM	ECHAM
Jan	224.9589	218.7278
Fev	174.3522	166.9244
Mar	98.51889	114.2511
Abr	54.01556	25.64333
Mai	8.327778	7.882222
Jun	8.465556	3.93
Jul	4.147778	1.838889
Ago	1.626667	1.613333
Set	2.803333	1.592222
Out	6.612222	8.886667
Nov	45.76667	61.93
Dez	185.1556	167.3967

Estação do ano	CNRM	ECHAM
Verão	735.3644	738.1167
Inverno	79.38667	42.5

Período Futuro (2010-2100) - Sub-bacia de Mutarara

Mês	CNRM	ECHAM
Jan	190.6456	182.6256
Fev	155.6211	149.5478
Mar	97.28889	107.13
Abr	58.10444	29.29889
Mai	9.766667	9.252222
Jun	11.17778	5.845556
Jul	6.342222	6.028889
Ago	4.136667	2.853333
Set	2.785556	2.333333
Out	8.08	11.16667
Nov	50.55	64.25222
Dez	151.4367	138.8767

Estação do ano	CNRM	ECHAM
Verão	653.6222	653.5989
Inverno	92.31333	55.61222

Período Futuro (2010-2100) - Sub-bacia Delta

Mês	CNRM	ECHAM
Jan	244.6778	237.3522
Fev	184.7011	186.3
Mar	147.4067	163.4478
Abr	103.4433	65.97444
Mai	24.92	24.22444
Jun	35.28	18.18
Jul	23.20333	17.34333
Ago	12.98333	9.126667
Set	7.424444	5.632222
Out	18.66444	23.41222
Nov	69.76667	83.30444
Dez	174.0278	155.8533

Estação do ano	CNRM	ECHAM
Verão	839.2444	849.67
Inverno	199.83	140.4811

