

UFRRJ

**INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

DISSERTAÇÃO

**Impactos dos Modos de Variabilidade Climática no Cultivo
do Milho em Regime de Sequeiro: Uma Abordagem de
Aplicação da Sustentabilidade Agrícola na Região Sul de
Moçambique**

Dionísio Inocêncio Uele

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

IMPACTOS DOS MODOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO
CULTIVO DO MILHO EM REGIME DE SEQUEIRO: UMA
ABORDAGEM DE APLICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE
AGRÍCOLA NA REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE

DIONÍSIO INOCÊNCIO UELE

Sob a Orientação do Prof. Dr.

Gustavo Bastos Lyra

e Sob a Co-orientação do Prof. Dr.

Luís Mauro Sampaio Magalhães

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, Área de concentração em Práticas em Desenvolvimento Sustentável.

Seropédica, RJ.

Agosto de 2013

632.109679

U22i

T

Uele, Dionísio Inocêncio, 1975-

Impactos dos modos de variabilidade climática no cultivo do milho em regime sequeiro: uma abordagem de aplicação da sustentabilidade agrícola na região de Moçambique / Dionísio Inocêncio Uele – 2013.

159 f. : il.

Orientador: Gustavo Bastos Lyra.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável.

Inclui bibliografias.

1. Mudanças climáticas – Moçambique – Teses. 2. Climatologia agrícola – Moçambique – Teses. 3. Precipitação (Meteorologia) – Variabilidade – Teses. 4. Milho – Fatores climáticos – Teses. 5. Milho – Cultivo – Teses. 6. Agricultura sustentável – Teses. I. Lyra, Gustavo Bastos, 1975-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DIONÍSIO INOCÊNCIO UELE

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, Área de concentração em Práticas em Desenvolvimento Sustentável.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 01/08/2013

Gustavo Bastos Lyra. Prof. Dr. DCA/IF/UFRRJ.
(Orientador)

José Francisco de Oliveira Júnior. Prof. Dr. DCA/IF/UFRRJ.

Cristiane Cardoso. Prof^a. Dr^a. IM/UFRRJ.

Carlos Rodrigues Pereira. Prof. Dr. UFF.

EPÍGRAFE

"A educação é o grande motor do desenvolvimento pessoal. É através dela que a filha de um camponês se torna médica, que o filho de um mineiro pode chegar a chefe de mina, que um filho de trabalhadores rurais pode chegar a presidente de uma grande nação."

[Nelson Mandela]

AGRADECIMENTOS

À Fundação MacArthur, Rede Global de Mestrados em Práticas em Desenvolvimento Sustentável (The Global Master's in Development Practice Programs Network), pelo financiamento para a formação.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em parceria com a Universidade Lúrio (UNILÚRIO); ao Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável (PPGPDS), em especial ao Departamento de Ciências Ambientais – Instituto de Florestas (DCA/IF) e Departamento de Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade (DDAS).

Ao Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM), pela cedência gentil dos dados meteorológicos, que foram fundamentais para a efetivação deste trabalho.

Aos Professores Gustavo Bastos Lyra e Luís Mauro Sampaio Magalhães, pela Orientação e Co-orientação, pela sua dedicação, paciência, sugestões e críticas fato que contribuiu para a materialização deste trabalho. Muito obrigado!

Aos Professores José Francisco de Oliveira Júnior, Ednaldo Oliveira dos Santos e Rafael Coll Delgado, pela convivência e colaboração na realização deste trabalho.

Aos Professores Rodrigo Medeiros, Peter Herman May, Jorge Ferrão e Abdulcarimo Ismael, pelo apoio e incentivo a esta formação.

Aos Professores e Funcionários do PPGPDS, em particular à Equipe Executiva, Mariana Kohler, Flávia Chaves, Maria Emília Melo e Graciela Ramos Duque de Freitas, pela convivência e amizade nos anos de exercício do curso.

Aos Amigos e Colegas de curso, pelo companheirismo, dedicação, ajuda e pelas sugestões recebidas durante o decorrer do Curso.

À minha noiva Raquel Vicente Baloi, pelo carinho, paciência e, principalmente, pela sua incansável colaboração e apoio moral ao longo de todo período do curso.

A todos que diretamente ou indiretamente, contribuíram com ideias e sugestões para a realização deste trabalho.

RESUMO

UELE, Dionísio Inocêncio. **Impactos dos modos de variabilidade climática no cultivo do milho em regime de sequeiro: uma abordagem de aplicação de sustentabilidade agrícola na região sul de Moçambique.** Dissertação (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável). Programa de Pós-Graduação em Práticas de Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

O presente trabalho foi realizado no contexto regional da África Austral e em Moçambique, precisamente na região sul do país. Nestas regiões da África Subsaariana, a chuva é irregularmente distribuída em termos temporais (interanual e intraanual), assim como, espaciais. A precipitação sobre África Austral apresenta maior variabilidade, a qual é fortemente condicionada por determinados modos de variabilidade climática, desde os de escala global aos de escala regional. Dentre esses modos, destacam-se: a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), o Dipolo do Oceano Índico (DOI) e o El Niño-Oscilação Sul (ENOS). A identificação dos modos da variabilidade climática que contribuem na alteração dos padrões da precipitação é de fundamental importância, pois pode auxiliar aos países vulneráveis aos eventos naturais, como Moçambique, a antecipar, acionar e/ou desenvolver mecanismos de mitigação e adaptação aos impactos desses eventos, que têm maior relevância no planejamento das atividades nos setores agrícola, industrial e ambiental. Assim, o presente estudo objetiva identificar os principais modos de variabilidade climática atuantes na região da África Austral e, em particular na região sul de Moçambique e identificar como definem as flutuações climáticas interanuais da precipitação, assim como avaliar sua influência no rendimento da cultura do milho em regime de sequeiro, utilizando-se para isso modelos numéricos solo-água-planta-atmosfera. Na avaliação da variabilidade interanual da precipitação foi usado o índice de precipitação padronizada (*standartized precipitation index - SPI*), que permitiu avaliar a anomalia padronizada de precipitação na escala anual. A Análise Harmônica e Espectral (AHE) foi aplicada às séries temporais anuais do SPI das estações dos grupos de precipitações homogêneas definidos pela análise de agrupamento, para identificação dos principais harmônicos (períodos) do SPI. Para a identificação dos modos da variabilidade climática foram feitas análises do SPI anual e dos seus períodos definidos na AHE em relação à ocorrência dos eventos de ODP, DOI e ENOS. O modelo agrometeorológico utilizado no presente trabalho é dividido em dois submodelos: i) submodelo solo-água-planta-atmosfera e ii) submodelo de crescimento e desenvolvimento do milho. O modelo foi implementado em ambiente de simulação *Model Maker*[®].

Palavras chave: Variabilidade climática; cultivo do milho; regime de sequeiro; sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT

UELE, Dionísio Incêncio. **Impacts of modes of climate variability on maize cultivation in rainfed conditions: an approach to implementing sustainable agriculture in southern Mozambique.** Dissertation (Master's in Sustainable Development Practices). Post Graduate Programme in Sustainable Development Practice, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

The present dissertation was developed in the regional context of Southern Africa and Mozambique, precisely in the southern region of the country. In these regions of sub-Saharan Africa, rainfall is unevenly distributed in terms of time (inter-annual and intra-annual), as well as space. The rainfall over southern Africa presents a major variability, which is strongly influenced by certain modes of climate variability, from the global scale to regional scale. These modes include: the Pacific Decadal Oscillation (PDO), the Indian Ocean Dipole (IOD) and El Niño-Southern Oscillation (ENSO). The identification of modes of climate variability that contribute in changing patterns of precipitation is of vital importance, because they may be useful to vulnerable countries, such as Mozambique with regard to natural events, by anticipating, triggering and/or developing mechanisms to mitigate and adapt to the impacts of these events that have greater relevance in planning activities in the agricultural, industrial and environmental sectors. Thus, this study aims to identify the main modes of climate variability acting in Southern Africa, particularly in southern Mozambique and identify how they define inter-annual climate fluctuations in precipitation and to evaluate their influence on the yield of maize rainfed, using numerical models *soil-water-plant-atmosphere*. It was used *standardized precipitation index* (SPI) for assessing inter-annual variability of rainfall, which allowed to evaluate the standardized precipitation anomaly at annual scale. Harmonic and Spectrum Analysis (HSA) were applied to the annual time series of SPI stations rainfall homogeneous groups defined by *cluster analysis*, to identify the main SPI harmonics (periods). In order to identify the modes of climate variability the annual SPI and their annual periods defined in HSA were analysed for the occurrence of events of ODP, DOI classified by *Multivariate and ENSO Index* (MEI). The *agro-meteorological model* used in this study was divided into two sub-models: i) sub-model soil-water-plant-atmosphere and ii) sub-model of growth and development of corn. The model was run in *Model Maker* ® simulated environment.

Keywords: Climate variability; cultivation of maize, rainfed conditions; agricultural sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição e localização das 11 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique nas três províncias da região sul de Moçambique.....	48
Tabela 2: Categorias e intervalos de classificação do Índice de Precipitação Padronizado (<i>Standardised Precipitation Index</i> - SPI) observado para identificação dos modos de variabilidade climática.	52
Tabela 3: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Panda do grupo 1.	68
Tabela 4: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Inhambane do grupo 1.....	69
Tabela 5: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Vilanculos do grupo 1.	70
Tabela 6: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Manjacaze do grupo 2.	72
Tabela 7: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Maniquenique do grupo 2.....	73
Tabela 8: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Maputo Observatório do grupo 2.....	74
Tabela 9: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Changalane do grupo 3.....	76
Tabela 10: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Umbeluzi do grupo 3.....	77
Tabela 11: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Inharrime do NDg.....	78
Tabela 12: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Xai-xai do NDg.....	79
Tabela 13: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Vila Macia do NDg.....	80
Tabela 14: Relação dos modos da variabilidade climática e anos de sua ocorrência nas estações do grupo 1.....	84

Tabela 15: Relação dos modos da variabilidade climática e anos de sua ocorrência nas estações do grupo 2.....	84
Tabela 16: Relação dos modos da variabilidade climática e anos de sua ocorrência nas estações do grupo 3.....	85
Tabela 17: Relação dos modos da variabilidade climática e anos de sua ocorrência nas estações do grupo NDg	85
Tabela 18: Definição do calendário de pantio, obtido a partir das combinações dos MVCs em função dos índices de RP, na estação de Inhambane.	130
Tabela 19: Definição do calendário de pantio, obtido a partir das combinações dos MVCs em função dos índices de RP, na estação de Xai-xai.....	133
Tabela 20: Definição do calendário de pantio, obtido a partir das combinações dos MVCs em função dos índices de RP, na estação de Changanane.	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dipolo oeste-este no Oceano Índico Sul; (a) na sua fase positiva e (b) na sua fase negativa	28
Figura 2: Localização da África Austral e países integrantes.	30
Figura 3: Variação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em África por todo ano. .	31
Figura 4: Mapa de Moçambique mostrando detalhes dos limites geográficos, divisão administrativa e as principais bacias hidrográficas.....	34
Figura 5: Distribuição dos tipos de clima em Moçambique.....	35
Figura 6: Anticiclones subtropicais do Índico e do Atlântico e a zona térmica de baixa pressão, localizados no cinturão de alta pressão subtropical do Hemisfério Sul.	39
Figura 7: Distribuição da precipitação média anual em Moçambique.....	42
Figura 8: Localização das três províncias que constituem a região Sul de Moçambique, os seus limites e as estações meteorológicas usadas nas análises.....	44
Figura 9: Distribuição das temperaturas médias anuais em Moçambique.	47
Figura 10: Dendrograma com dados padronizados de precipitação média anual de 11 estações meteorológicas da região sul de Moçambique, no período de 1960 a 2004.	57
Figura 11: Distribuição dos grupos homogêneos das estações da região estudada.....	58
Figura 12: Boxplot de precipitação homogênea das estações: a) Inhambane, b) Panda e c) Vilanculos do grupo G1 na região Sul de Moçambique, no período de 1960-2004.	60
Figura 13: Boxplot de precipitação homogênea das estações: a) Manjacaze, b) Maniquenique e c) Maputo Observatório do grupo G2 na região Sul de Moçambique, no período de 1960-2004.....	63
Figura 14: Boxplot de precipitação homogênea das estações: a) Changalane e b) Umbeluzi do grupo G3 na região Sul de Moçambique, no período de 1960-2004.....	64
Figura 15: Boxplot de precipitação homogênea das estações: a) Inharrime, b) Xai-xai e c) Vila Macia do NDg na região Sul de Moçambique, no período de 1960-2004.....	65
Figura 16: Avaliação dos harmônicos e do Índice de Precipitação Padronizada das estações: a) Inhambane, b) Panda e c) Vilanculos do G1 na região sul de Moçambique.....	71
Figura 17: Avaliação dos harmônicos e do Índice de Precipitação Padronizada das estações: a) Manjacaze, b) Maniquenique e c) Mapoto Observatório do G2 na região sul de Moçambique.	75

Figura 18: Avaliação dos harmônicos e do Índice de Precipitação Padronizada das estações: a) Changalane e b) Umbeluzi do grupo G3 na região sul de Moçambique.	77
Figura 19: Avaliação dos harmônicos e do Índice de Precipitação Padronizada das estações: a) Inharrime, b) Xai-xai e c) Vila Macia do NDg na região sul de Moçambique.	80
Figura 20: Milho (<i>Zea mays</i>) cultivado em regime de a) sequeiro e b) por irrigação.	106
Figura 21: Rendimentos do milho apresentados na forma padronizada na estação representativa de Inhambane.	121
Figura 22: Rendimentos do milho apresentados na forma padronizada na estação representativa de Xai-xai.	124
Figura 23: Rendimentos do milho apresentados na forma padronizada na estação representativa de Changalane.	126
Figura 24: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de El Niño na estação de Inhambane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	137
Figura 25: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de La Niña na estação de Inhambane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	139
Figura 26: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos Neutros na estação de Inhambane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	141
Figura 27: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de El Niño na estação de Xai-xai: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	142
Figura 28: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de La Niña na estação de Xai-xai: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	144
Figura 29: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos Neutros na estação de Xai-xai: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	145
Figura 30: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de El Niño na estação de Changalane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	147
Figura 31: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de La Niña na estação de Changalane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	149
Figura 32: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos Neutros na estação de Changalane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.	150

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA – Análise de Agrupamento	CQMA – Corrente Quente Moçambique-Agulhas
AFD – Água Facilmente Disponível	CT – Ciclones Tropicais
AFE – Área Foliar Específica	CTCAR - Centro Técnico de Cooperação Agrícola e Rural
ALT – Alteração no Armazenamento da água no solo	DAP – Dias Após Plantio
ACIS – Anticiclones do Índico Sul	DOI - Dipolo do Oceano Índico
ACAS – Anticiclones do Atlântico Sul	DOIS - Dipolo do Oceano Índico Sul
AHE – Análise Harmônica e Espectral	DOT – Depressão de Origem Térmica
AOT – Alta de Origem Térmica	DMI – Índice de Dipolo, do Inglês (<i>Dipole Mode Index</i>)
AOT – Alta de Origem Térmica	DZSP – Depressões da Zona Subpolar
ARM – Armazenamento da água no solo	ENOS - El Niño-Oscilação Sul
BC – Baixas Costeiras	E – Este
BH – Blanço Hídrico	ES – Extremamente Seco
CA – Corrente das Agulhas	EU – Extremamente Úmido
CAD – Capacidade de Água Disponível no solo	EXC – Excedente Hídrico
Cdde – Cidade	FFS – Frentes Frias do Sul
CAT – Células Anticiclônicas Tropicais	FPA – Frentes Polares do Antártico
CEMO – Centro de Estudos Moçambicanos e Internacionais	GD – Graus-dia
CES – Corrente Equatorial Sul	G1 – Grupo 1
CM – Canal de Moçambique	G2 – Grupo 2
CMO – Corrente de Madagascar Oriental	G3 – Grupo 3
CTCM – Ciclones Tropicais do Canal de Moçambique	HN – Hemisfério Norte
CAZSHS – Células Anticiclônicas da Zona Subtropical do Hemisfério Sul	HS – Hemisfério Sul
CCM – Corrente do Canal de Moçambique	IAF – Índice da Área Foliar
CQCM – Corrente Quente do Canal de Moçambique	ID1 – Estação de Inhambane
	ID2 – Estação de Inharrime
	ID3 – Estação de Panda
	ID4 – Estação de Vilanculos

ID5 – Estação de Manjacaze	NASA - Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica, do Inglês (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
ID6 – Estação de Maniquenique	
ID7 – Estação de Xai-xai	
ID8 – Estação da Vila Macia	
ID9 – Estação de Maputo Observatório	ND _g – Estações Não Determinados/Agrupadas
ID10 – Estação de Changanane	NE - Neutro
ID11 – Estação de Umbeluzi	NE – Nordeste
IIAM – Instituto de Investigação Agrária de Moçambique	NW – Noroeste
INAM – Instituto Nacional de Meteorologia	OLR – Radiação de Ondas Longas, do Inglês (<i>Outgoing Long wave Radiation</i>)
INDE – Instituto Nacional do Desenvolvimento da Educação	OPD - Oscilação Decadal do Pacífico
INE – Instituto Nacional de Estatística	OS – Oscilação Sul
INGC – Instituto Nacional de Gestão de Calamidades	PEDSA - Plano Estratégico para o Desenvolvimento do Sector Agrário
IOS - Índice de Oscilação Sul	PEL - Pacífico Equatorial Leste
ISNA - Índice de Satisfação das Necessidades de Água	RP – Rendimento Padronizado
LMI – Limite Médio do Índice	RSM – Região Sul de Moçambique
MDU – Moderadamente Úmido	S – Sul
MDS – Moderadamente Seco	SE – Sudeste
MEI – Índice Multivariado de ENOS, do Inglês (<i>Multivariate ENOS Index</i>)	SPI – Índice de Precipitação Padronizada, do Inglês (<i>Standardized Precipitation Index</i>)
MICOA – Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental	SQD – Soma de Quadrados dos Desvios
MM – Método dos Momentos	SW – Sudoeste
MMV – Método da Máxima Verossimilhança	TSM - Temperatura da Superfície do Mar
MS – Muito Seco	QAP – Quinquídio Após Plantio
MU – Muito Úmido	UEM – Universidade Eduardo Mondlane
N – Norte	UNILÚRIO – Universidade Lúrio
	VDMQL – Ventos Dominantes Marítimos do Quadrante Leste
	W – Oeste
	WORLD BANK – Banco Mundial

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ZBPE – Zona de Baixas Pressões
Equatoriais

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	19
OBJETIVOS.....	23
Geral	23
Específicos	23
CAPÍTULO I - MODOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA ATUANTES NA ÁFRICA AUSTRAL	24
1.1 INTRODUÇÃO	24
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
1.2.1 El Niño-Oscilação Sul	25
1.2.2 Oscilação Decadal do Pacífico.....	26
1.2.3 Dipolo do Oceano Índico	27
1.2.4 Dipolo do Oceano Índico Subtropical	28
1.2.5 Caracterização da África Austral	30
1.2.6 Clima da África Austral.....	32
1.2.7 Localização e caracterização de Moçambique.....	32
1.2.8 Clima de Moçambique.....	34
1.2.9 Sistemas meteorológicos atuantes em Moçambique	36
1.2.10 Zona de Convergência Intertropical	37
1.2.11 Ciclones Tropicais	37
1.2.12 Anticiclones subtropicais.....	38
1.2.13 Depressões térmicas	39
1.2.14 Frentes frias do sul.....	40
1.2.15 Baixas Costeiras	40
1.2.16 Formas de relevo ou orográficas	40
1.2.17 O Canal de Moçambique	41
1.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
1.3.1 Caracterização e localização da área de estudo.....	43
1.3.2 Climatologia da região Sul de Moçambique.....	44

1.3.3 Dados Meteorológicos	48
1.3.4 Análise de agrupamento	49
1.3.5 Análise da qualidade e preenchimento de falhas dos dados de precipitação	50
1.3.6 Análise do SPI.....	51
1.3.7 Análise Harmônica e Espectral	53
1.3.8 Modos de Variabilidade Climática.....	55
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
1.4.1 Análise de agrupamento	57
1.4.2 Variabilidade temporal e espacial da precipitação	58
1.4.3 Análise Harmônica e Espectral	67
1.4.4 Identificação dos modos de variabilidade climática.....	81
1.4.5 Relação da ODP e os harmônicos	82
1.4.6 Relação ODP, DOI, ENOS e SPI.....	83
1.4.7 Anos de eventos da ODP, DOI, ENOS e SPI	86
1.5 CONCLUSÕES	88
1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DOS MODOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO CULTIVO DO MILHO EM REGIME DE SEQUEIRO

..... 97

2.1 INTRODUÇÃO	97
2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	99
2.2.1 A agricultura e o clima	99
2.2.2 Agricultura sustentável	100
2.2.3 Agricultura de sequeiro.....	101
2.2.4 Agricultura em Moçambique	102
2.2.5 Aspectos agro-climatológicos.....	102
2.2.6 Agricultura de sequeiro em Moçambique.....	103
2.2.7 Utilização da terra agrícola e adequação das culturas	104
2.2.8 O milho: características	105
2.2.9 Necessidades edafoclimáticas do milho	106
2.2.10 O cultivo do milho em regime de sequeiro	108

2.2.11 O calendário agrícola.....	109
2.3 MATERIAL E MÉTODOS	110
2.3.1 Área de estudo e dados climáticos	110
2.3.2 Modelo Agrometeorológico.....	110
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	121
2.4.1 Simulação dos rendimentos do milho.....	121
2.4.2 Combinação dos MVC para a definição do calendário agrícola.....	128
2.4.3 Simulação do índice de satisfação das necessidades de água	136
2.5 CONCLUSÕES	151
CONCLUSÕES GERAIS	153
RECOMENDAÇÕES	154
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura é uma atividade econômica que depende diretamente dos elementos climáticos, principalmente, quando conduzida em regime de sequeiro. Dentre os elementos climáticos, a precipitação pluvial é a que mais influencia a produtividade agrícola na região Tropical. Variabilidades ou mudanças climáticas podem afetar o regime de precipitação e temperatura do ar, e assim, o zoneamento agrícola e de risco climático de diversas culturas, assim como suas técnicas de manejo.

Na região da África Austral, destacam-se a influência dos modos de variabilidade climática El Niño – Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), o Dipolo do Oceano Índico (DOI). A ocorrência do fenômeno ENOS é frequentemente associada a variações nos rendimentos agrícolas em várias regiões do mundo. Os efeitos no clima mais conhecidos e de maiores impactos provocados pelo ENOS estão relacionados à variabilidade no regime térmico e, principalmente, no padrão de distribuição da chuva. A ODP possui duas fases positiva (quente) e negativa (fria): ODP-Positiva prevalecem águas superficiais mais quentes que o normal no Pacífico Tropical e Leste, e águas mais frias que o normal no Pacífico Norte, com tendência de maior número de episódios de El Niño e mais intensos e menor número de La Niña, que são menos intensos; ODP-Negativa prevalecem águas superficiais mais frias no Pacífico Tropical e Leste, e águas mais quentes no Pacífico Norte, com maior número de episódios de La Niña, que tendem a ser mais intensos e com menor frequência de El Niño, caracteristicamente curtos e rápidos.

Na agricultura, o entendimento das consequências desses fenômenos no rendimento das culturas exigem estudos relacionais dos processos no sistema solo-planta-atmosfera, tendo em conta que o impacto no rendimento de determinadas culturas depende da duração e severidade dos períodos secos, da regularidade das chuvas, das características fisiológicas de cada cultura e edáficas locais. No entanto, a inclusão de variáveis meteorológicas no estudo do crescimento e desenvolvimento das plantas não pode ser analisada separadamente, para além da importância em se obter o conhecimento prévio da correlação existente entre o ENOS e as variáveis meteorológicas em determinado local (SILVA e LUNA, 2012).

Na região sul de Moçambique, a irregularidade e escassez das chuvas e/ou secas geralmente são decorrentes da atuação do ENOS, que influenciam periodicamente no clima desta região. O ENOS é de natureza devastadora e provoca grande impacto social, econômico e ambiental. As principais consequências do ENOS são relacionadas, principalmente, com a baixa produtividade na agricultura, pecuária e abastecimento de água nos centros urbanos e comunidades rurais do país.

As variabilidades temporais (sazonal e interanual) e espaciais (regional e grande escala) das condições do clima são fundamentais para a agricultura e para gestão dos recursos naturais. É também importante a variabilidade da precipitação, particularmente no que diz respeito ao uso humano. Por exemplo, conhecimento prévio sobre quando e quanto a precipitação irá ocorrer é fundamental na gestão de recursos hídricos e para a produtividade na agricultura (SILVA e LUNA, 2012). Além disso, tem impacto significativo para a segurança alimentar, uma vez que uma grande variabilidade resulta em altos níveis de incerteza.

Em alguns países da África Subsaariana¹, práticas agrícolas sustentáveis, embasadas em conhecimentos locais, se mostram eficazes de assegurar o desenvolvimento de sistemas de produção alimentícia (ALTANGEREL e HENAO, 2010). A agricultura sustentável é orientada pelo conhecimento local e por técnicas de conservação de recursos, fazendo melhor uso dos bens e serviços oferecidos pela natureza, sem danificá-la (REIJNTJES *et al.*, 1992). Além disso, investir nas capacidades dos pequenos agricultores em adotar práticas sustentáveis irá ajudar a garantir maiores lavouras e rendimentos, e promove também o consumo de alimentos locais e, principalmente no desenvolvimento econômico local e na fixação das populações.

Em Moçambique, a agricultura constitui um setor de atividade de grande importância para a economia, sendo igualmente a base de segurança alimentar e de renda para a maioria da população moçambicana. O setor agrário é essencialmente constituído pela agricultura

¹ Os países que fazem parte da África Subsaariana são os seguintes: África do Sul; Angola; Benin; Botswana; Burkina Faso; Burundi; Cabo Verde; Camarões; Chade; Comores; Congo; Costa do Marfim; Djibouti; Eritreia; Etiópia; Gabão; Gâmbia; Gana; Guiné; Guiné Equatorial; Guiné Bissau; Lesoto; Libéria; Madagáscar; Malawi; Mali; Maurícia; Moçambique; Namíbia; Níger; Nigéria; Quênia; República Centro-Africana; República Democrática do Congo; Ruanda; São Tomé e Príncipe; Esneal; Serra Leoa; Seychelles; Somália; Suazilândia; Sudão; Tanzânia; Togo; Uganda; Zâmbia e Zimbabué. Em: <http://www.luventicus.org/mapaspt/africa/africasubsaariana.html>.

familiar, praticada em pequenas explorações, em regime de sequeiro e emprega mais de 80% da população. O setor familiar pratica uma agricultura tradicional de subsistência com investimentos reduzidos e de baixo nível tecnológico (INE, 2002).

De acordo com o Centro Técnico de Cooperação Agrícola e Rural (CTCAR), o milho é o alimento de base mais importante na África Oriental. No entanto, os rendimentos desta cultura nas pequenas explorações agrícolas continuam baixos e representam apenas um quarto do que poderia ser alcançado (CTA, 2008). Moçambique é um país desta região, com menor rendimento de milho por hectare. O rendimento médio do milho na agricultura familiar é cerca de 0,85 ton/ha, considerado baixo quando comparado com o da África 1,35 ton/ha (SAWANGUANE, 2005).

Apesar do fraco desenvolvimento agrário, o país possui grande potencial para desenvolver uma agricultura que assegure crescimento sustentável a médio e longo prazo. Porém, é necessário que se adotem estratégias e políticas que visam à transformação da economia familiar de subsistência e de baixo rendimento para uma agricultura mais integrada, orientada na criação de emprego, autossuficiência alimentar, produção de matéria prima para indústria nacional e exportação.

O diagnóstico dos modos de variabilidade climática pode auxiliar os países susceptíveis às Mudanças Climáticas, como é o caso de Moçambique, a antecipar, acionar e/ou desenvolver mecanismos de mitigação aos efeitos extremos, como eventos hidrometeorológicos extremos (secas e enchentes). Estes diagnósticos poderão fornecer informações de maior importância, tanto no planeamento das atividades, assim como na tomada de decisões estratégicas de criação de políticas públicas para melhorar o bem estar social com a finalidade de impulsionar o desenvolvimento em vários setores tais como agricultura, indústria, vias de acesso, meio ambiente, entre outros.

Os fatos anteriormente expostos enfatizam a necessidade de que as estratégias de desenvolvimento têm que ter em conta não apenas o crescimento socioeconômico, e sim com a segurança alimentar da população. Para atender essas demandas, é necessário o planeamento do uso da água e do solo com base nos aspectos edafoclimáticos e da cultura para fornecer elementos ao desenvolvimento da agricultura sustentável.

O presente trabalho é composto por dois capítulos: O primeiro capítulo introduz o tema e os objetivos do trabalho. Mais adiante, são identificados com o auxílio da literatura e modelos estatísticos, os principais modos de variabilidade climática que atuam na região da África Austral e seus impactos na variação interanual da climatologia regional da precipitação. O segundo capítulo aborda aspectos agrometeorológicos, isto é, a relação da Agricultura com a Meteorologia e Climatologia, a partir da identificação dos modos de variabilidade climática, relacionando-os com os fenômenos El Niño-Oscilação Sul - ENOS, Oscilação Decadal do Pacífico - ODP, e o Dipolo do Oceano Índico – DOI e assim quantificar a produtividade do milho em regime de sequeiro na região sul de Moçambique.

OBJETIVOS

Geral

AVALIAR os impactos advindos dos modos de variabilidade climática nos padrões interanuais da precipitação na região sul de Moçambique e sua influência na produtividade do milho em regime de sequeiro.

Específicos

- **Identificar** os principais modos de variabilidade climática (MVC) atuantes na região da África Austral (Capítulo 1);
- **Caracterizar** (período de atuação e intensidade) da variação interanual das anomalias (SPI) de precipitação (Capítulo 1);
- **Definir** como as flutuações climáticas (MVC) influenciam nas características da variação das anomalias climáticas da precipitação (Capítulo 1).
- **Quantificar** a influência dos modos de variabilidade climática no rendimento da cultura do milho em regime de sequeiro com auxílio de modelos numéricos solo-água-planta-atmosfera (Capítulo 2);
- **Contribuir e propor** o desenvolvimento de um modelo de previsão e calendarização dos plantios na época chuvosa, com vistas a serem utilizados como alternativas para mitigar as perdas de culturas decorrentes do estresse hídrico e (Capítulo 2);
- **Readequar** os modelos existentes, melhorando-os para a otimização da maior produtividade, aproveitando os recursos naturais disponíveis e expansão das áreas de cultivo do milho (Capítulo 2).

CAPÍTULO I - MODOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA ATUANTES NA ÁFRICA AUSTRAL

1.1 INTRODUÇÃO

É notável que nos últimos anos o aumento dos impactos da variabilidade climática interanual, tal que os eventos extremos nestas escalas temporais têm pressionado em várias vezes os principais aspectos da vida humana, na região da África Austral. Por exemplo, lugares com regimes de precipitação apropriados à prática da agricultura, prevenção de epidemias, proteção do meio ambiente, entre outros. Nestes aspectos, a precipitação é um elemento climático fundamental e determinante em tais pressões à sociedade. Assim, o prognóstico da precipitação auxiliaria positivamente aos países vulneráveis, como é o caso de Moçambique, a antecipar, acionar e/ou desenvolver mecanismos de adaptação ou mitigação aos efeitos dos eventos naturais, por exemplo, secas e enchentes, sendo a previsão de sua ocorrência de extrema importância no planejamento das atividades dos setores agrícola, industrial, ambiental, entre outros. O presente estudo concentrou-se na análise dos anos de ocorrência de seca, relacionados com os modos de variabilidade climática, que possivelmente estejam relacionados com a irregularidade e/ou escassez da chuva, elemento fundamental para a prática da agricultura de sequeiro.

O primeiro capítulo tem por objetivo identificar os principais modos de variabilidade climática (MVC), atuantes na região da África Austral e, em particular na região sul de Moçambique; caracterizar (período de atuação e intensidade) da variação interanual das anomalias (SPI) de precipitação; definir como as flutuações climáticas (MVC) influenciam nas características da variação das anomalias climáticas da precipitação.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 El Niño-Oscilação Sul

Os ciclos de ENOS resultam da combinação de fatores oceânico-atmosféricos. O ENOS possui duas fases, uma fria e outra quente que ocorrem em intervalos de 6 a 18 meses, mas entre um evento e outro podem transcorrer de 1 a 10 anos. Durante a ocorrência do ENOS, diversas partes do globo sofrem alterações na distribuição da precipitação e temperatura do ar, sobretudo nas regiões Tropicais e nas latitudes médias (LOIOLA, 2012).

A fase quente do ENOS, ou El Niño, caracteriza-se pela anomalia positiva da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Equatorial Leste, correspondendo às secas no Nordeste do Brasil (NEB), redução das chuvas na Amazônia e aumento da precipitação e da temperatura no Sul do Brasil, a temperaturas elevadas no Nordeste e Noroeste dos Estados Unidos da América (EUA), Sul da Austrália, Japão e na África Austral (OLIVEIRA, 2001; LOIOLA, 2012).

Na fase inversa ou La Niña, ocorre anomalia negativa da TSM no Oceano Pacífico Equatorial Leste. As regiões afetadas pela La Niña podem se diferenciar das do El Niño. No Sul do Brasil ocorre frio e períodos de seca e no Nordeste maior precipitação, o frio intensifica-se sobre o Japão, Noroeste dos EUA e África Austral. A periodicidade curta e a magnitude dos ciclos ENOS, tornam-os perceptíveis e relevantes às atividades socioeconômicas (OLIVEIRA, 2001; LOIOLA, 2012).

O El Niño caracteriza-se por TSM mais quentes que a média no Pacífico Equatorial Leste, enquanto a La Niña por TSM mais frias que a média climatológica. O El Niño produz seca e temperaturas acima da média para o sul da África. Já a La Niña está associada aos anos mais frios e chuvas a acima do normal (LOIOLA, 2012).

Além de índices baseados nos valores da TSM no Oceano Pacífico Equatorial, o ENOS pode também ser quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice representa a diferença de pressão ao nível médio do mar (PNMM) entre o Pacífico Central (Thaiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália) (OLIVEIRA, 2001).

O IOS está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, consequência do aquecimento e resfriamento das águas superficiais na região. O IOS é indicado pelos valores negativos (positivos) para a ocorrência do El Niño e La Niña, respectivamente (OLIVEIRA, 2001).

Ao nível regional quando o IOS aumenta rapidamente, a partir de janeiro e atinge no Hemisfério Sul o valor crítico de +0,5 ou superior, nos meses de julho e setembro, a probabilidade de ocorrer período de seca sobre a África Austral aumenta. Contrariamente, quando o IOS diminui rapidamente, a partir de janeiro e atinge um valor crítico de -0,5 ou inferior (julho e setembro), maior é a probabilidade de se ter um período chuvoso normal (-0,5 a 0,5) ou acima do normal (inferior a -0,5) (ROJAS e AMADE, 1996).

A Oscilação Sul (OS) é o modo dominante da variabilidade interanual dos Trópicos no geral. Contudo, a OS não altera as fases do período chuvoso das regiões atingidas, e sim causa alterações na amplitude da precipitação, ou seja, a quantidade de chuva durante o período chuvoso normal torna-se superior ou inferior que a média, embora a época do ano seja a mesma (VAREJÃO-SILVA, 2005).

1.2.2 Oscilação Decadal do Pacífico

Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) é um fenômeno oceânico-atmosférico associado à variabilidade climática do Oceano Pacífico. A ODP pode também ser definida, como o fenômeno que descreve o padrão térmico médio das águas superficiais do Pacífico, para períodos decadais, que vão de 20 a 30 anos. Segundo Dewes, *apud* Loiola, (2012), durante a ODP a cada duas ou três décadas ocorre inversão entre fases frias e quentes na TSM entre o Oceano Pacífico Tropical e extratropical, completando o ciclo em 50 a 60 anos.

A ODP possui duas fases positiva (quente) e negativa (fria): ODP-Positiva prevalecem águas superficiais mais quentes que o normal no Pacífico Tropical e Leste, e águas mais frias que o normal no Pacífico Norte, com tendência de maior número de episódios de El Niño e mais intensos e menor número de La Niña que são menos intensos; ODP-Negativa prevalecem águas superficiais mais frias no Pacífico Tropical e Leste, e águas mais quentes no Pacífico Norte, com maior número de episódios de La Niña, que tendem a ser mais intensos e com menor frequência de El Niño, que são mais curtos e rápidos. Aguiar (2006)

cita o exemplo das fases da ODP, em que durante a década dos 40, esteve-se sob a influência da ODP-Positiva (maior número de El Niños e mais intensos). Durante as décadas 50 a 76 caracterizou-se a ODP-Negativa, quando ocorreram diversos eventos de La Niña, de intensidade forte. Novamente, nas décadas dos 80 e 90 esteve-se sob a ODP-Positiva, quando ocorreram justamente os dois El Niños mais fortes do século passado (1983 e 1997/1998) (AGUIAR, 2006).

1.2.3 Dipolo do Oceano Índico

A comunidade científica reconhece também o Dipolo do Oceano Índico (DOI), como um fenômeno acoplado da interação oceano-atmosfera. O DOI é um fenômeno interanual que foi descoberto recentemente, que ocorre nas regiões tropicais do Oceano Índico (RANDRIAMAHEFASOA, 2011).

O DOI é uma oscilação da TSM no Oceano Índico, que se tornou uma grande influência sobre as variações climáticas na região. Durante os eventos do DOI positivo, a anomalia quente da TSM no Oceano Índico Ocidental é acompanhado por secas severas sobre a região da Indonésia e fortes chuvas sobre a África Oriental. Para obter mais detalhes sobre os padrões do DOI Nakamura *et al.* (2009), estudaram um registro de coral de 115 anos do Quênia. Nesse estudo os autores analisaram proporções de isótopos de oxigênio de corais, que ajudaram a traçar as anomalias de precipitação, para reconstruir a variabilidade do DOI. Seus resultados adicionaram-se à evidência de que o DOI vem ocorrendo com mais frequência nas últimas décadas.

Ainda nesse estudo, descobriram que antes de 1924, o DOI ocorreu aproximadamente a cada 10 anos, mas desde 1960, os eventos do DOI vêm ocorrendo cerca de 18 meses a 3 anos de diferença. Conforme Abram *et al.* (2007), uma média de quatro eventos de DOI positivo (negativo) ocorrem durante um período de 30 anos e cada evento dura cerca de seis meses.

Os efeitos do aquecimento global no Oceano Índico ocidental, podem ter levado à mudança observada na variabilidade do DOI, e este substituiu o ENOS como principal promotor de padrões climáticos sobre a região do Oceano Índico (NAKAMURA *et al.*, 2009).

Os eventos do DOI começam a desenvolver-se no mês de junho e têm seu pico em outubro. Durante as monções de verão no Hemisfério Norte (HN) (junho a setembro) e monções de inverno no Hemisfério Sul (HS) (dezembro a fevereiro), um forte vento sazonal do Sudeste (SE), cruza o equador e afeta a profundidade da termoclina. De leste a oeste, o vento empurra a água quente na zona da camada de mistura, assim, a água fria chega até a superfície do oceano. Portanto, a termoclina sobe na parte leste do Oceano Índico, sendo esta a fase do DOI-Positivo. É caracterizado pelo resfriamento da TSM em torno da costa de Java e aquecimento nas regiões ocidentais do Oceano Índico – costa oriental do continente africano (RANDRIAMAHEFASOA, 2011).

Consequentemente, precipitações fortes se desenvolvem ao longo da região oriental do continente africano durante a fase de pico. Condições inversas existem e que descrevem os acontecimentos do DOI-Negativo. Resumidamente, o DOI é simultaneamente um pólo-oeste e pólo-leste das anomalias de TSM no Oceano Índico Sul (Figura 1) (RANDRIAMAHEFASOA, 2011).

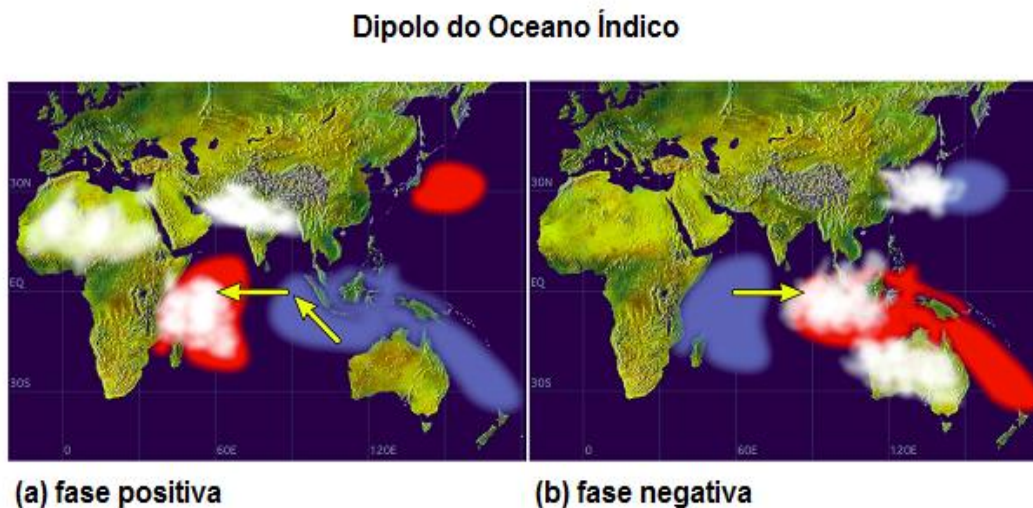


Figura 1: Dipolo oeste-este no Oceano Índico Sul; (a) na sua fase positiva e (b) na sua fase negativa. Fonte: Adaptado de Climate Smart Agriculture (2011). Em: <www.dpi.nsw.gov.au/publications>.

1.2.4 Dipolo do Oceano Índico Subtropical

As regiões tropicais, do ponto de vista climatológico são descritas pela faixa das regiões situadas entre os 30° S e 30° N. Estas regiões recebem mais radiação solar do que as demais regiões do globo. Enquanto que as regiões subtropicais consistem de duas regiões,

uma no HN e outra no HS, entre 30° - 45° N e 45° - 30° S. Os seus limites dependem da distribuição dos raios solares sobre a superfície da Terra (RANDRIAMAHEFASOA, 2011).

O Dipolo do Oceano Índico Subtropical (DOIS), é um evento que ocorre nas regiões subtropicais do HS. É um modo de variabilidade interanual que ocorre durante o verão austral (janeiro a março). A presença de fortes ventos de leste-sul, o aumento da evaporação e da mistura das massas de ar marinho no sudeste do Oceano Índico, causa o resfriamento das águas na costa Australiana. Considerando a presença de ventos fracos de oeste e a perda sazonal de calor latente, isso faz com que a bacia oceânica seja quente no sudoeste do Oceano Índico, precisamente no sul de Madagáscar. Estas duas anomalias de TSM, quente no oeste e fria no leste, compõem o DOIS-Positivo (RANDRIAMAHEFASOA, 2011). Conforme Saji *et al.* (1999), durante a fase positiva do DOIS neste pólo são geradas massas de ar úmido, que são advectadas na parte oriental de Moçambique e África do Sul, sendo reforçadas pela anomalia de baixa pressão gerada sobre este pólo quente.

Obviamente existe o DOIS-Negativo, que é caracterizado pela ocorrência de anomalias quente de TSM na região sudeste do Índico e fria na região sudoeste. Por um lado, a anomalia de TSM fria na região oriental do Oceano Índico Sul enfraquece a ZCIT marítima. Por outro lado, a anomalia positiva de TSM contribui no aumento da evaporação na região ocidental, onde as massas de ar úmido marinho são transportadas pelos fortes ventos de leste-sul para a região da África Austral. Conseqüentemente, a precipitação abundante acima do normal ocorre sobre essa região. No entanto, a fase negativa do DOIS tem conseqüências opostas, menos precipitação sobre a região da África Austral incluindo Madagáscar.

O DOIS positivo (negativo) possui características similares do DOI positivo (negativo), porém este é a porção sul do DOI que atua na região subtropical do Oceano Índico, concretamente entre as latitudes de 30° e 45° S, com maior influência sobre a região da África Austral e, em particular no Canal de Moçambique e no sul de Madagascar. Em contrapartida, a porção norte do DOI atua na região intertropical, isto é, entre os paralelos 30° N e 30° S e tem maior influência sobre esta região. No entanto, ao longo deste estudo optou-se em evidenciar o DOI como referência, para simplificar as análises destes modos de variabilidade climática, mas, além disso, pelo fato de ter havido acesso à sua informação. Assim, recomenda-se que em outros estudos se aprofunde mais sobre este modo de variabilidade climática.

1.2.5 Caracterização da África Austral

A África Austral encontra-se localizada entre o Oceano Atlântico e o Oceano Índico, zonas de alta pressão a oeste e a leste (Figura 2). Possui áreas semiáridas e desérticas (Deserto da Namíbia - Namíbia e de Calaári - Botswana). A maioria de sua população vive da agricultura de sequeiro para sua subsistência, o que torna os longos períodos de seca um evento que afeta a economia e a própria vida da sociedade. É uma região propensa à secas frequentes e distribuição de chuvas irregulares. Nesta região da África Subsaariana, a chuva é irregularmente distribuída no decorrer dos anos em termos temporais, assim como espaciais. Não só a escassez ou mesmo a falta de chuvas é prejudicial, mas a sua irregularidade também é. A região possui dois períodos distintos - um período chuvoso, que varia de novembro a abril, e um período seco, que varia de maio a outubro (INGC/FEWS NET Mind, 2003). O problema da seca em algumas vezes não é a falta de água, e sim a falta de políticas públicas e aplicação de conhecimentos tecnológicos para a minimização deste problema.



Figura 2: Localização da África Austral e países integrantes. Fonte: NASA World Wind.

Por um lado, a precipitação pluvial sobre a África Austral apresenta grande variabilidade, que é fortemente condicionada pelo fenômeno ENOS. Por outro lado, ela é largamente influenciada pela ZCIT. A ZCIT muda a sua posição durante o ano, deslocando-se entre o Equador e os Trópicos de Câncer e Capricórnio. A região da África Austral recebe

maiores quantidades de sua precipitação anual de novembro até abril, à medida que a ZCIT se desloca para o sul. Quanto mais a sul esta se desloca, maior é a probabilidade de ocorrência da precipitação (Figura 3). O período chuvoso ocorre quando a ZCIT se move para o sul, o que induz as chuvas e, o período seco (maio até outubro) ocorre quando esta se afasta em direção ao norte (ALLABY e ALLABY, 1999).



Figura 3: Variação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em África por todo ano. Fonte: In INGC/FEWS NET Mind (2003).

Vale acrescentar que para além da ZCIT, os oceanos desempenham também influência importante no clima regional. Por um lado, a costa leste é influenciada pela corrente do Canal de Moçambique (CCM) em direção ao sul, a qual traz água quente e ar úmido do Equador, e desta maneira induz a um clima úmido e quente. Por outro lado, a costa oeste é influenciada pela corrente Fria de Benguela (CFB), do Oceano Atlântico, que condiciona um clima mais seco (INGC/ FEWS NET Mind, 2003).

No interior da África Austral, existe forte gradiente de chuvas de leste a oeste. Na região da Suazilândia e Lesoto em direção para o leste, tanto a altitude como a exposição do ar úmido que escoia do Oceano Índico condicionam chuvas mais fortes. No entanto, a precipitação total reduz gradualmente em direção ao ocidente, de modo que muitas regiões centrais e ocidentais se tornem semidesérticas, com baixa e variável precipitação. Em toda região do interior, as chuvas ocorrem principalmente no verão, acompanhadas de trovoadas. Existem igualmente faixas de temperaturas do ar diárias e sazonais, como resultado dos efeitos da altitude e da posição continental (oceanidade/continentalidade). Os invernos são

normalmente secos e ensolarados, enquanto que os verões são quentes e úmidos. A geada ocorre frequentemente durante o inverno e a neve é comum acima dos 1.500 m (INGC/FEWS NET Mind, 2003).

1.2.6 Clima da África Austral

O clima da região Austral de África, em modo geral, divide-se em dois grupos segundo a classificação de Köppen: i) climas áridos próprios dos países do Sudoeste que fazem fronteira com o Deserto de Kalahari (Angola, Botswana, Zimbabuè, Namíbia e África do Sul), com climas que variam de semiárido e subúmido a leste e a hiper-árido a oeste; ii) climas de latitude média úmida com invernos moderados, que compreendem os países do leste, (Malawi, Moçambique, Lesoto Suazilândia e Tanzânia) e países das Ilhas do Oceano Índico (Comores, Madagascar, Maurícias, Reunião e Seychelles), com condições climáticas que variam de seco a sub-tropical úmido de latitude média (INGC/FEWS NET Mind, 2003; PIDWIRNY, 2006).

1.2.7 Localização e caracterização de Moçambique

Moçambique situa-se no hemisfério Meridional, entre os paralelos 10°27'N e 26°52'S e entre os meridianos de 40°51'E e 30°12'O, na costa Sudeste do continente africano, Oeste da Ilha de Madagáscar da qual é separada pelo Canal de Moçambique (MUCHANGOS, 1999; ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 2006). A situação geográfica de Moçambique é das mais interessantes do continente Africano, pois ele integra três das grandes regiões naturais, nomeadamente: a África Oriental, África Central e África Austral. Com uma superfície de 799.380km², de terra firme e 13.000km² são ocupados pelas águas interiores que incluem os lagos, albufeiras² e rios, e com uma fronteira terrestre de 4.330km² desde o rio Rovuma até à Ponta do Ouro (ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 2006; CUMBE, 2007).

Moçambique faz fronteira internacional com seis países, os quais se inserem na fronteira noroeste e oeste, são os seguintes: Malawi, Zâmbia e Zimbabuè respectivamente; A norte é limitado pela República da Tanzânia através da fronteira natural do Rio Rovuma; A

² Albufeira: refere-se a uma depressão não muito funda inundada, que se comunica com o mar durante as marés cheias; lago de água salgada, criado por represamento artificial, laguna; represa artificial que usa as águas das chuvas para irrigação. Em: <<http://aulete.uol.com.br/ALBUFEIRA#ixzz2IKwcMDTR>>.

sul é limitado pela República da África do Sul e o Reino da Suazilândia e a este, é limitado pelo Canal de Moçambique e pelo Oceano Índico. O clima de Moçambique é influenciado pelas monções do Oceano Índico e pela corrente quente do Canal de Moçambique (CQCM), em geral seu clima é tropical úmido, com uma estação seca no centro/norte que varia de quatro a seis meses e no sul o clima é tropical seco que se prolonga de seis a nove meses (UELE, 2008).

A República de Moçambique possui uma população de 20.226.296 habitantes, majoritariamente 85% vivendo na zona rural. A área costeira constitui uma faixa de menos de 20% da superfície total, onde habita cerca de 43% da população total. O país tem uma taxa anual de crescimento populacional de 2,4%, que é considerada uma das mais altas do continente Africano. A maioria da população depende dos bens e serviços providenciados pelos ecossistemas, com particular destaque a agricultura e florestas naturais (ZOLHO, 2010).

No aspecto espacial Moçambique está dividido geograficamente em três regiões distintas, são elas: Região Norte, Centro e Sul.

Região Norte: também conhecida por Moçambique Setentrional é constituída por três províncias: Niassa, Cabo Delgado e Nampula. A norte fica Tanzânia, da qual se separa através do rio Rovuma, a sul está a província de Zambézia, a este é banhada pelo Oceano Índico e a Oeste é limitada pelo Lago Niassa e pelo Malawi. Geograficamente fica entre os paralelos 10°27' S e 16°51' S e entre os meridianos 34°40' E e 40°51' E (INAM, 2007).

Região Centro: esta zona é constituída por quatro províncias: Tete, Manica, Sofala e Zambézia. É limitada a Norte pela Zâmbia, Malawi província de Niassa e de Nampula. A sul, pelas províncias de Gaza e Inhambane. A este, é banhada pelo Oceano Índico e a oeste pela República de Zâmbia e República do Zimbabuè. Localização geográfica, entre os paralelos 14°00' S e 21°33' S e pelos meridianos 30°12' E e 39°07' E.

Região Sul: também denominada por Moçambique Meridional, situa-se a sul do rio Save é constituída pelas províncias de Gaza, Inhambane e Maputo. É limitada a norte pelas províncias de Manica e Sofala. A sul pela República de África do Sul, a este é banhada pelo Oceano Índico e a oeste, pela República do Zimbabuè, República de África do Sul e Reino da Suazilândia. Situa-se entre os paralelos 21° 05' S e 26°52' S e pelos meridianos 31° 20' E e 35° 20' E (INAM, 2007).

(Aw) e 15% constitui a zona do clima sub-úmido. As zonas áridas e úmidas são constituídas por 2 e 3% de área total de Moçambique (CORDEIRO, 1987) (Figura 5).

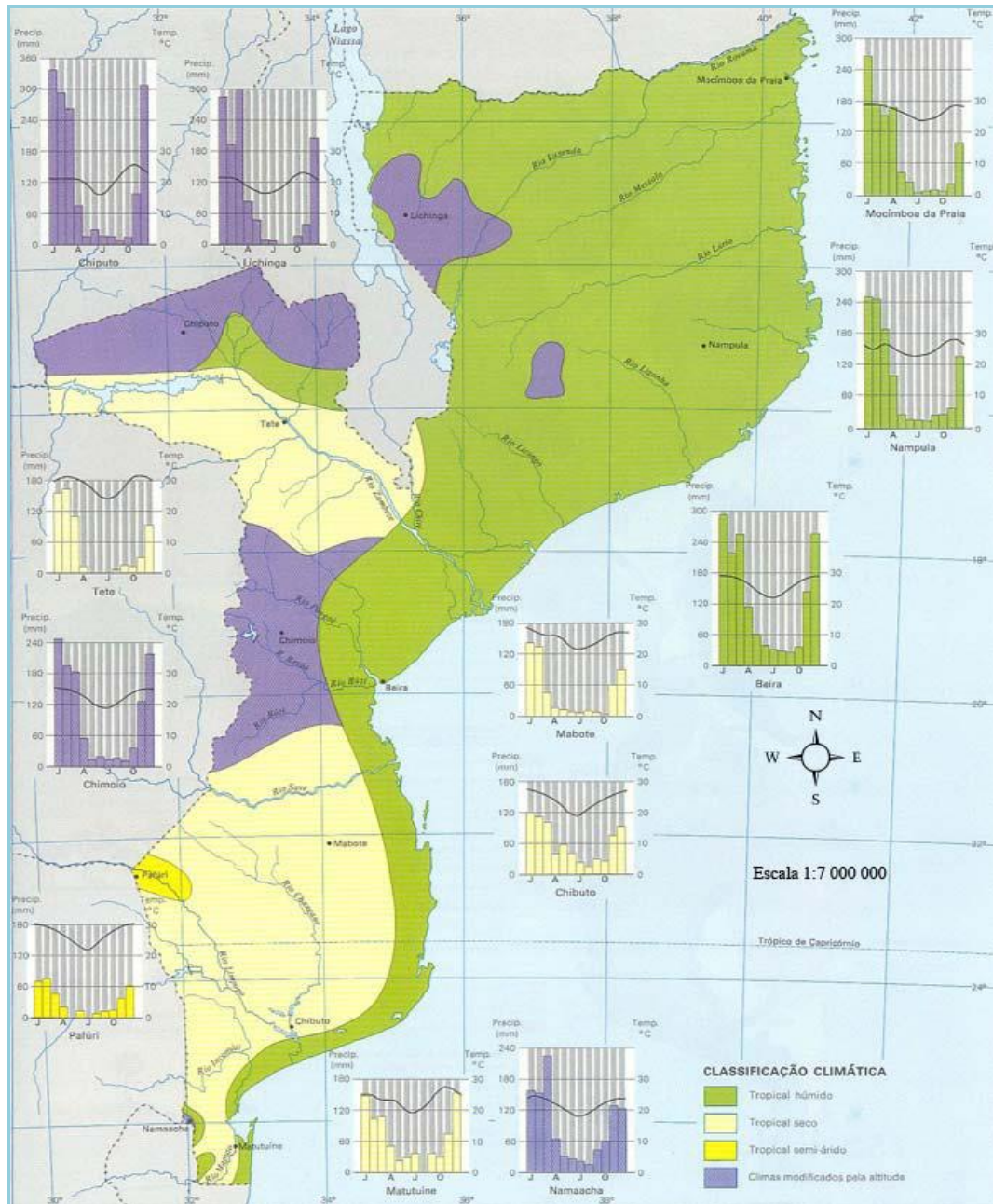


Figura 5: Distribuição dos tipos de clima em Moçambique. Fonte: MINED (1986).

Os tipos climáticos em Moçambique são determinados pela localização da zona de baixas pressões equatoriais (ZBPE), das células anticiclônicas tropicais (CAT) e das frentes polares do Antártico (FPA). O litoral moçambicano sofre influências da Corrente quente Moçambique-Agulhas (CQMA) e dos correspondentes ventos dominantes marítimos do

quadrante Leste (VDMQL). Na região do litoral, as chuvas geralmente são torrenciais e são mais a norte que a sul, com maior frequência de tempestades tropicais durante a época úmida (CUMBE, 2007).

As chuvas intensas são associadas á passagem de ciclones tropicais (CT) ao longo do CM. Estes sistemas climáticos de grande escala podem variar consideravelmente de ano para ano, e às vezes resultam em cenários de secas ou enchentes. Outro modo importante que impacta na variabilidade do clima é a TSM do Oceano Índico, relacionado com o DOI. Durante a fase quente - El Niño causa seca e temperaturas mais elevadas do que as condições médias normais e, na fase fria - La Niña causa condições de chuvas intensas, com temperaturas relativamente mais frias (ALLABY e ALLABY, 1999; INGC/FEWS NET Mind, 2003).

A variabilidade do ENOS pode estar relacionada com as tendências de mudança do clima. Um estudo realizado na África Austral mostra que a média anual da pluviosidade, reduziu a uma taxa média mensal de 2,5 mm o correspondente a 3,1% por década entre 1960 a 2006 (INGC/ FEWS NET Mind, 2003). Esta variação foi resultante das reduções nos totais pluviométricos registradas em dezembro-janeiro-fevereiro, que diminuíram em 6,3 mm mensais equivalendo a 3,4% por década (ALLABY e ALLABY, 1999; INGC/ FEWS NET Mind, 2003).

1.2.9 Sistemas meteorológicos atuantes em Moçambique

Os sistemas atmosféricos mais importantes e que determinam os totais e padrões de precipitação sobre Moçambique, que afetam diretamente a prática da agricultura de sequeiro em grande larga escala, e influenciam a produtividade agrícola são: ZCIT; as Células Anticiclónicas da Zona Subtropical do Hemisfério Sul (CAZSHS) sobre os dois oceanos (Pacífico e Índico); Depressão de origem térmica (DOT) que se forma sobre a África Austral na época quente e chuvosa do HS; a Alta de origem térmica (AOT) sobre o continente; as Depressões da Zona Subpolar (DZSP), na sua migração periódica anual no sentido ao Equador; Frentes frias (FF), Corrente Quente Moçambique-Agulhas (CQMA) e os Ciclones Tropicais do Canal de Moçambique (CTCM).

1.2.10 Zona de Convergência Intertropical

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é uma zona de baixas pressões, onde convergem diferentes massas de ar e criam-se nuvens de grande desenvolvimento vertical (nuvens convectivas - cumulusnimbus), que provocam grandes totais de precipitações. Este é um sistema migratório que se desloca sobre o continente Africano no sentido N-S e S-N. As posições extremas são atingidas nos meses de julho cerca de 4° S e janeiro se estende até às proximidades do Trópico de Capricórnio (23° 27' S). Durante os meses de agosto-novembro a ZCIT desloca-se para o sul e em janeiro-fevereiro (verão Austral) atinge o extremo inferior a sul, o que contribui para as chuvas na região norte, centro e uma porção da região sul de Moçambique (ROJAS e AMADE, 1996; UELE, 2008).

O caso inverso ocorre durante os meses de março-junho e em junho-julho (inverno Austral), quando a ZCIT atinge o extremo superior a norte da sua posição média meteorológica, onde consequentemente, contribui para a diminuição das chuvas nas regiões norte, centro e sul do país. Seu efeito ocorre com maior intensidade nas províncias de (Niassa, Cabo Delgado, Nampula – Região Norte; Zambézia, norte de Tete e Sofala – Região Centro), onde esse deslocamento resulta no início ao período chuvoso nestas regiões, entre os meses de outubro-novembro. Na Região Sul o efeito da ZCIT faz-se sentir, embora não com maior intensidade, na região compreendida entre o rio Save e o Trópico de Capricórnio (especificamente no norte de Inhambane e de Gaza), onde contribui geralmente, para o início tardio do período chuvoso entre os meses de novembro-dezembro (UELE, 2008).

1.2.11 Ciclones Tropicais

Os Ciclones Tropicais (CTs) durante a sua passagem sobre o país, produzem grandes quantidades de precipitação, sendo estas zonas de baixas pressões com características dinâmicas, que movimentam ar úmido e quente horizontalmente.

O período com maior atividade ciclônica estende-se de novembro até abril. Conforme as estatísticas, cerca de três a cinco ciclones se formam no CM todos os anos. Este fenômeno por média dura seis dias (desde a sua formação até a dissipação), porém por vezes, há ciclones que duram semanas às vezes até um mês. Para a agricultura, dependendo de sua intensidade, o

ciclone pode ser favorável (proporcionando chuvas) ou desfavorável (provocando enchentes e destruições) (ROJAS e AMADE, 1996).

1.2.12 Anticiclones subtropicais

Anticiclones subtropicais (ACSTP) são células de alta pressão alinhadas aproximadamente ao longo de uma linha de latitude em ambos os hemisférios. O eixo do cinturão se localiza nos níveis baixos a cerca de 35° de latitude em média e tem um pequeno deslocamento meridional anual.

Os Anticiclones Subtropicais do Sul (ACSTPS) estão localizados no cinturão de alta pressão subtropical do Hemisfério Sul, durante seus movimentos sazonais constituem características importantes que controlam o tempo na África Austral (TYSON, 1984; ROCHA, 1992).

Por um lado, do Oceano Índico as altas apresentam deslocamento longitudinal de cerca de 24° e, estão próximas ao subcontinente durante o inverno e deslocam-se para a região da Austrália durante o verão. Por outro lado, do Oceano Atlântico as duas células deslocam-se entre 5 a 6° de latitude e alcançam suas posições mais a sul durante o verão. Ainda neste período de verão, com o aparente movimento do Sol para o Hemisfério Sul, uma zona térmica de baixa pressão desenvolve-se na África Austral, e quebra o cinturão de alta pressão, e o regime dos ventos dos dois hemisférios convergem para esta zona, onde a banda de atividade convectiva determina a ZCIT. No extremo sul predomina um intenso aporte de umidade do Oceano Índico e a Ilha de Madagascar atua como uma barreira (Figura 6). Vale ressaltar que o Oceano Índico é a principal fonte de ar úmido para a região, através de massas de ar do nordeste e sudeste (TALJAARD, 1986; TYSON, 1986).

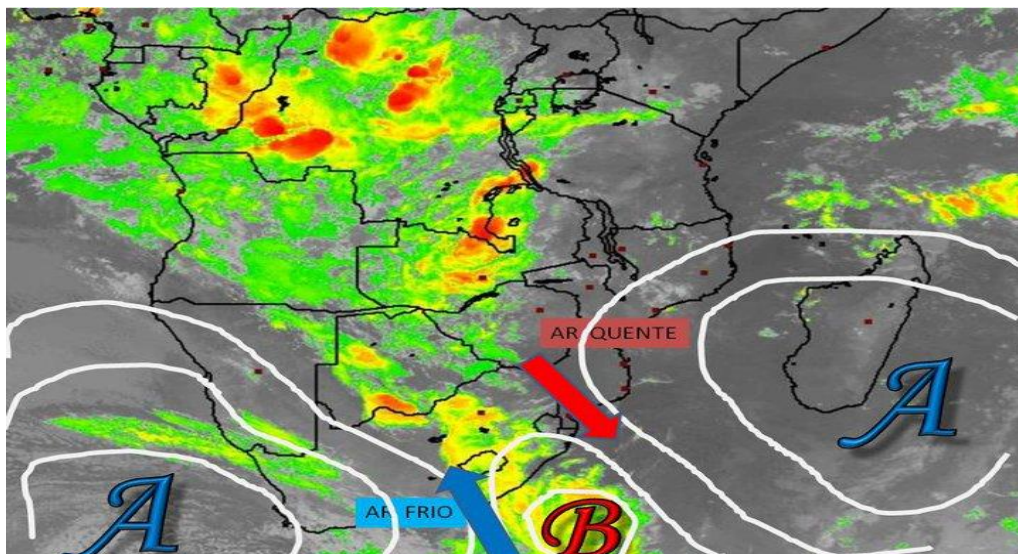


Figura 6: Anticiclones subtropicais do Índico e do Atlântico e a zona térmica de baixa pressão, localizados no cinturão de alta pressão subtropical do Hemisfério Sul. Fonte: INAM (2013).

Durante o inverno Austral nos Oceanos Índico e Atlântico, as altas encontram-se próximas do subcontinente, onde predomina a subsidência na região e a convecção é inibida. O fluxo de ar frio proveniente dos oceanos é impedido de penetrar no continente devido à inversão da temperatura que geralmente varia abaixo do nível de planalto (SCHULZE, 1988).

1.2.13 Depressões térmicas

As depressões de origem térmicas (DOT) caracterizam-se por baixas pressões no centro e convergência do ar. Estas são acompanhadas por massas de ar, geralmente quente e úmido, que favorecem a ocorrência de precipitação. Porém, dependendo do seu posicionamento e dinâmica, por vezes, originam a ocorrência de chuvas fracas inferiores a 10 mm/d. Resultam da movimentação e deslocação dos ACSTP originários do Oceano Índico e Atlântico. O interior das províncias de Inhambane e Gaza são zonas fortemente influenciadas por ACSTP (FARIA, 1965). Uma presença muito forte deste fenômeno afeta, por vezes, a atividade da ZCIT que é frequente durante o verão (ROJAS e AMADE, 1996).

Durante o verão austral (janeiro-abril), os ventos de nordeste (NE) deflectem a ZCIT para o sul da região da África Austral (até próximo ao Trópico de Capricórnio, cerca de 23° 27' S), o que favorece a ocorrência da precipitação (chuvas) nesta região e, conseqüentemente, na Região Sul de Moçambique (RSM). O contrário observa-se durante a monção continental ou do inverno (julho-setembro), quando os ventos de sudeste (SE)

afastam a ZCIT para o norte do continente Africano, assim favorece parte das regiões Central e Norte de África (Figura 3).

1.2.14 Frentes frias do sul

Frentes frias do Sul (FFS) são massas de ar frio que se formam na superfície polar sul, elas têm uma migração periódica anual em direção ao Equador. Na sua trajetória, estas massas de ar frio convergem com as de ar quente, na zona de convergência formam-se grandes nuvens de desenvolvimento vertical (nuvens convectivas) que provocam precipitação. A duração das FFS, geralmente, é de três a cinco dias, sendo mais frequentes no inverno. No entanto, elas são as responsáveis pela maior parte das chuvas que ocorrem no verão na região sul do país, sobretudo na região litorânea. Estas frentes determinam a existência da segunda época agrícola na região litorânea do país (ROJAS e AMADE, 1996; UELE, 2008).

1.2.15 Baixas Costeiras

As baixas costeiras (BC) são células de baixas pressões, localizadas na parte costeira da África Austral. Em Moçambique ocorrem, geralmente, durante o verão e são observadas com maior frequência no sul do rio Save. A passagem das BC é algumas vezes, caracterizada por céu coberto localizado e por chuvas locais fracas de curta duração. Este fenômeno é ligeiramente favorável à prática da agricultura de sequeiro na área do litoral (ROJAS e AMADE, 1996; UELE, 2008).

1.2.16 Formas de relevo ou orográficas

As precipitações também podem se formar de acordo com a configuração do relevo da região, por exemplo, a composição orográfica de determinada região facilita o processo de ascendência das massas de ar, que com o aumento da altitude provoca a diminuição da temperatura. A massa de ar ascendente alcança baixa temperatura e evolui até ao ponto de saturação, onde a água condensa-se e precipita-se.

Este fenômeno é típico das regiões planálticas, por exemplo, a região a sul do rio Save é caracterizada por vastas áreas de planícies (duas faixas com altitudes entre 0 a 200 m; no litoral com altitudes de até 100 m e outra caminhando ao interior com altitudes de 100 a 200 m), em que o movimento ascendente das massas de ar não tem grande influencia, excetuando

uma pequena faixa nas províncias de Maputo e Gaza ao longo da fronteira com a Suazilândia, África do sul e Zimbabuè, onde as altitudes variam entre 200 a 500 m. Contudo, nesta região, prevalece a influência da distância em relação à costa (continentalidade), cuja variação ocorre na altura em que as massas de ar úmido marítimo perdem umidade à medida que se deslocam para o interior. O efeito da continentalidade é mais notável nas regiões do interior das províncias de Gaza e Inhambane (VAZ, 1997).

1.2.17 O Canal de Moçambique

Canal de Moçambique (CM) ou ainda Corrente Quente Moçambique-Agulhas (CQMA) é a porção do Oceano Índico situado entre a costa da África Oriental e a Ilha de Madagascar, aproximadamente entre as latitudes 10° e 25° S. Sua origem e desenvolvimento estão relacionados com vulcanismo extensivo ao longo das fronteiras entre a África, Antártica e Madagascar que teve início no Jurássico Médio (Figura 3). A temperatura média da água é relativamente elevada, com temperaturas nunca inferiores a 18°C, sendo as mais elevadas de 36°C registradas em áreas com águas pouco profundas.

A CM forma-se aproximadamente à latitude de 12° S, no noroeste da Ilha de Madagascar, como ramo sul da Corrente Equatorial Sul (CES). No seu percurso norte-sul, junto ao paralelo de 26° S, se junta à Corrente de Madagascar Oriental (CMO), formando a Corrente das Agulhas (CA), é por essa razão que a principal corrente de Moçambique é também conhecida por Corrente Quente Moçambique-Agulhas (CUMBE, 2007). Devido ao regime de ventos locais, esta corrente sofre alguns desvios e ramificações de pouca relevância, mas com capacidade suficiente para estimular a morfologia e dinâmica costeira. A amplitude das marés varia em média entre 0,5 e 4 m, e podem ultrapassar os 6 m durante as marés vivas na baía de Sofala, devido à grande extensão da plataforma continental (MUCHANGOS, 1999).

Em Moçambique existem dois períodos: período quente e chuvoso e período seco (amena) fresco. A época quente e chuvosa tem início nos meses de outubro-novembro e termina em março-abril. O período seco vai de abril a setembro. O período das chuvas, que tem início em outubro, é mais curto que o período seco, exceto em algumas regiões costeiras onde as chuvas duram aproximadamente seis a oito meses. A influência oceânica contribui para a uniformização do clima da área costeira, onde a temperatura é em torno de 24°C e a

pluviosidade varia entre 800 e 1.400 mm, (Figura 7). As regiões mais afastadas do litoral apresentam climas secos e semiáridos (CUMBE, 2007).

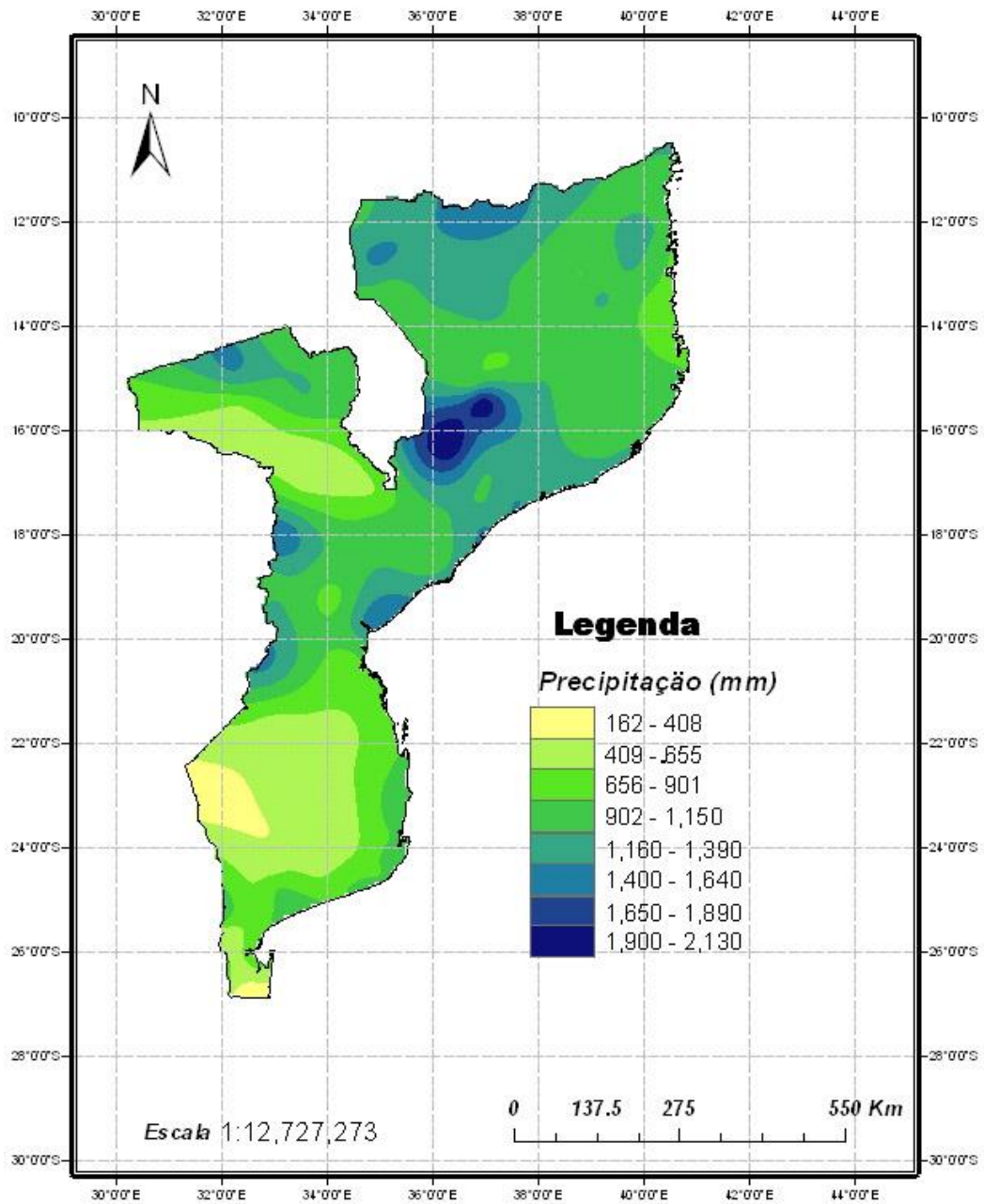


Figura 7: Distribuição da precipitação média anual em Moçambique. Fonte: INAM (2007).

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Caracterização e localização da área de estudo

A região sul de Moçambique localiza-se entre as latitudes de 21°05' S e 26°52' S e longitudes de 31°20' E e 35°20' E (INAM, 2007). Estende-se por mais 5° de latitude e é atravessada ao meio pelo Trópico de Capricórnio, nas proximidades do paralelo 23° S. A região tem uma largura máxima de 300 km e uma mínima de 50 km na sua parte Sul (UELE, 2008).

Esta região estende-se por uma superfície de cerca 170.682 km², na orientação Norte-Sul. Estende-se do rio Save à Ponta de Ouro, englobando as províncias de Maputo (24°15'00''N - 26°51'45''S; 32°58'46''E - 32°02'25''O), Gaza (21°19'00''N - 25°22'56''S; 35°41'30''E - 31°30'00''O) e Inhambane (20°57'09''N - 24°51'42''S; 35°34'27''E - 34°41'30''O) (PILILÃO, 1987; ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 2006).

Segundo Muchangos (1999), a região Sul de Moçambique é limitada a Norte pelo curso do rio Save; a Oeste a fronteira internacional separa-a dos territórios do Zimbabué, África do Sul e Suazilândia; a Sul numa extensão de 80 km até à Ponta de Ouro, é separada pela África do Sul; e a Leste pelo Oceano Índico (Figura 8).

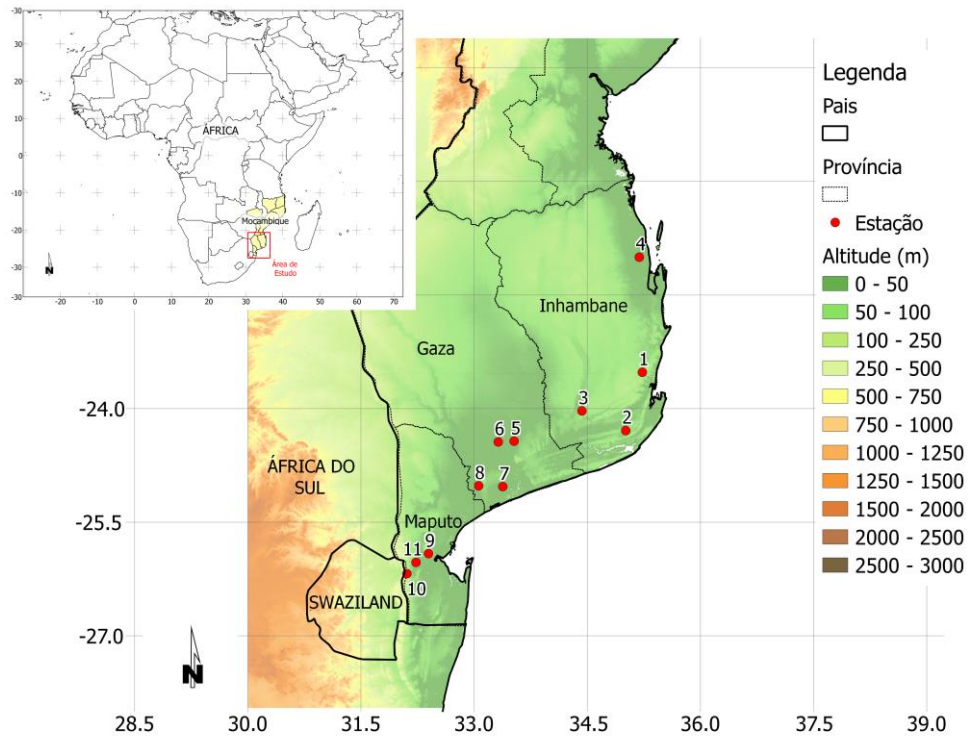


Figura 8: Localização das três províncias que constituem a região Sul de Moçambique, os seus limites e as estações meteorológicas usadas nas análises.

1.3.2 Climatologia da região Sul de Moçambique

De um modo geral, o clima da região sul do País, resultam de uma interação de diversos sistemas meteorológicos, dos quais, apontam-se os que têm maior relevância sobre a região, como os anticiclones do Índico Sul (ACIS) e do Atlântico Sul (ACAS), a depressão de origem térmica (DOT) e os Ciclones Tropicais no Canal de Moçambique (CTCM) (FERREIRA, 1965).

Os ACIS e ACAS são constituídos por massas de ar quente. Esses sistemas estão centrados aproximadamente na mesma latitude, oscilando entre 25° S no inverno (estação fria, junho-agosto), que coincide com o período seco, e 38° S no verão (estação quente, dezembro-março) que coincide com o período chuvoso. Nesta época do ano, os ACIS e ACAS se movem para sul, e assim, interferem no clima do litoral. Na África Meridional, durante o inverno do HS, um dos dois transforma-se em uma AOT, constituído por ar menos quente que se dissipa com o aumento da altitude, a sua circulação está associada ao efeito de montanhas

que provocam ventos catabáticos³, nas áreas costeiras e na transição da plataforma planáltica para a orla costeira. Estes ventos atuam ao longo de toda a costa da África, desde o sul de Angola até ao sul de Moçambique e divergem do continente para o mar (FERREIRA, 1965).

As regiões entre os rios Save e Limpopo estão, frequentemente, sob a ação de uma crista de altas pressões (CAP), associadas ao ACIS, dando origem a ventos divergentes e, portanto, a céu pouco nublado no interior com pequenas quantidades de precipitação (FARIA, 1965).

Esta região é afetada pelo CT do Oceano Índico, entre os paralelos de 5° e 10° S, e mais raramente no CM. Embora estes sejam de grande importância meteorológica, têm climaticamente significado reduzido, pois a frequência da sua ocorrência é pequena e só eventualmente afetam o litoral. São menos intensos e deslocam-se com velocidade da ordem de 18,52 km/h, atravessam em regra a Ilha de Madagascar numa trajetória parabólica se desviando para sul (FERREIRA, 1965).

A DOT estabelece-se sobre o planalto continental africano e, afeta o estado do tempo na região Sul de Moçambique. Várias vezes por mês, durante todo o ano, as FFS atingem o litoral Sul, e originam aguaceiros fracos durante o inverno, aguaceiros e trovoadas durante o verão (FARIA, 1965).

No tocante ao clima, dada a sua localização geográfica, nos dois lados do Trópico de Capricórnio, o clima da região Sul é do tipo tropical seco, úmido e semiárido (Figura 5). A maior influência sobre o clima nesta região, particularmente em relação aos padrões da precipitação e da temperatura do ar, é exercida pela sua localização na zona dos Alísios de Sudeste, pelas correntes marítimas da CQMA e pelas diferenças altitudinais e ainda da exposição de cada uma das suas parcelas (FARIA, 1965).

³ Ventos catabáticos ou ventos descendentes também conhecidos por ventos de outono são ventos frios de montanha, geralmente são predominantes nas regiões costeiras. Refere-se ao ar frio que desce as montanhas por efeito de gradientes de pressão. Quando o fluxo catabático se encontra com outras correntes de ventos, a convergência pode ocorrer e pode se formar uma grande linha de nuvens cumulus ou cumulonimbus. Em: <<http://geoblogger10.blogspot.com.br/2011/04/ventos-anabaticos-e-vento-catabaticos.html>>.

A diferenciação territorial do clima permite observar certa variação, segundo a continentalidade (maritimidade/continentalidade), ou seja, da diminuição da influência dos ventos e correntes marítimas com o afastamento da costa. Quanto mais distante o lugar estiver do litoral, menor será a umidade e maior será a variação da temperatura. É por causa desse efeito, que uma área costeira sofre a influência moderadora do oceano de maneira mais intensa. Já outra, localizada no interior do continente, sofre maior contraste entre as temperaturas de inverno e verão.

No litoral, desde a foz do rio Save até ao extremo sul, os totais de precipitação média anual variam entre 800 e 1.000 mm, enquanto que as temperaturas do ar médias oscilam entre 22 e 24 °C, (Figuras 7 e 9). As regiões do país onde se registram valores de precipitação mais elevados, acima dos 1.400 mm coincidem, sobretudo com os pontos onde a altitude é mais elevada (zona montanhosa de Zambézia, Niassa, Tete e Manca). Outras áreas de 1.400 – 1.800 mm distribuem-se de forma descontínua ao longo do litoral Centro e Sul, com particular incidência para a faixa situada entre Pebane e a sul de Quelimane, e a região da Beira. Na área litoral a norte da cidade de Inhambane, entre esta e Inharrime, e mais a sul exatamente na faixa costeira que cerca a cidade de Xai-xai, encontram-se faixas de 1.000 – 1.400 mm. Apesar desta descrição da distribuição pluviométrica do país, importa reter que normalmente as chuvas são muito irregulares de ano para ano, particularmente na região Sul do país (BARCA e SANTOS, 1995).

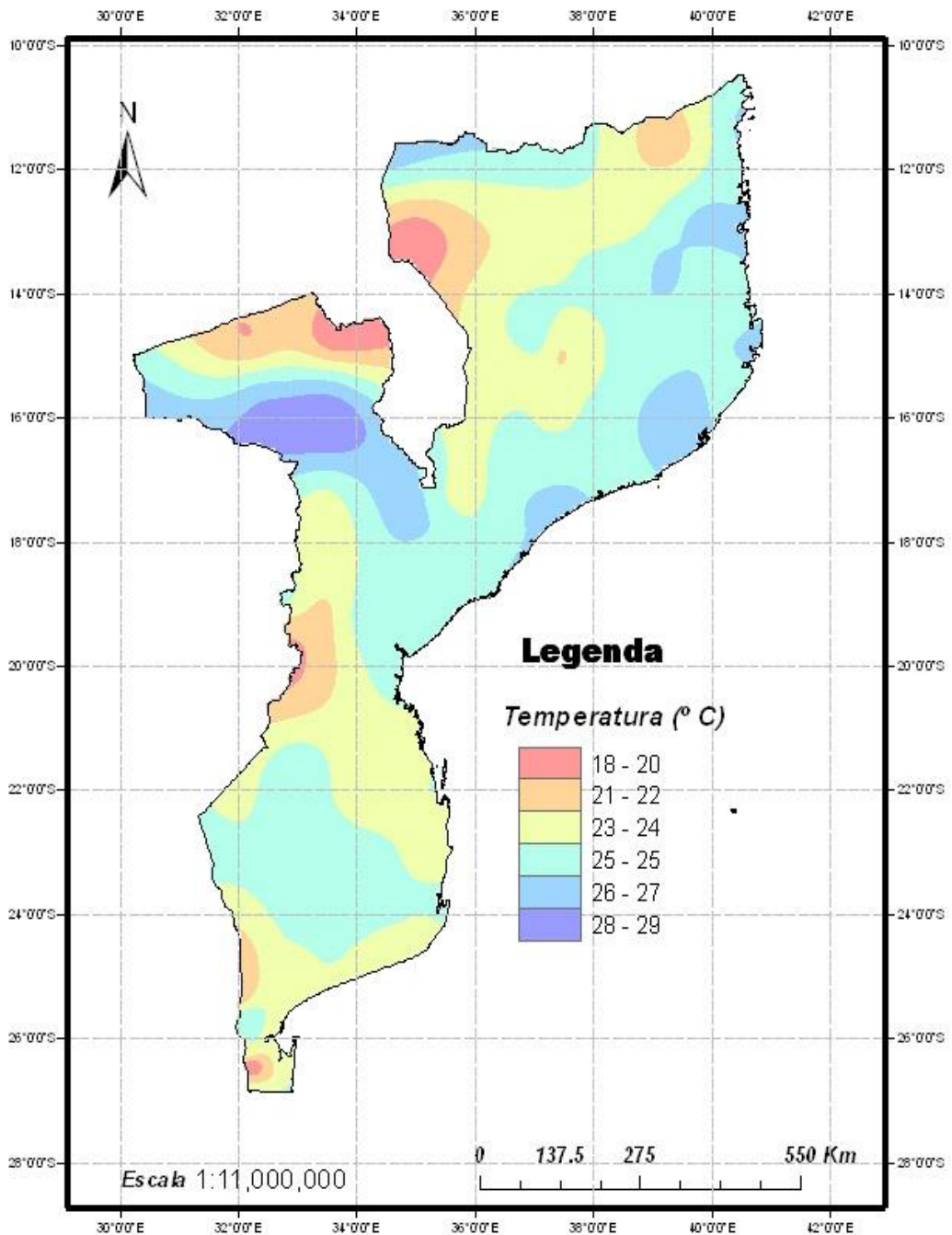


Figura 9: Distribuição das temperaturas médias anuais em Moçambique. Fonte: INAM (2007).

No interior, destacam-se regiões com características marcadamente secas, em particular, na faixa compreendida entre Chicualacuala e Massingir onde as médias de temperatura do ar variam em torno de 24 - 26 °C e as de precipitação diminuem até 300 mm anuais, sendo por sinal as mais áridas do país. Na região dos Libombos, devido à altitude, verifica-se diminuição das temperaturas anuais 20 – 21 °C e acentuado acréscimo dos totais

de precipitação: de 600 mm no litoral para 800 mm na região da Namaacha (MUCHANGOS, 1999).

1.3.3 Dados Meteorológicos

Para garantir a confiabilidade de muitos estudos climáticos, especialmente dos que analisam a variabilidade do clima, são necessários dados confiáveis e homogêneos. A identificação de alterações nos registros meteorológicos é de grande importância para diversos estudos que utilizam as séries históricas (SANTOS *et al.*, 2012).

Utilizaram-se nesta pesquisa, dados diários, mensais e anuais de precipitação pluvial e temperatura do ar, obtidos em 11 estações meteorológicas da Região Sul de Moçambique (Figura 7), no período de 1960 a 2004 completando um total de 44 anos de dados. A série abrangeu uma normal climatológica, que permitiram antever resultados satisfatórios no período abrangido pela série. Esses dados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique – INAM.

A Tabela 1 apresenta as 11 estações meteorológicas das quais os dados foram obtidos e os detalhes latitude (°), longitude (°) e altitude (m) de cada estação, assim como a província, distrito e/ou município e o período em que os dados estiveram disponíveis.

Tabela 1: Distribuição e localização das 11 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique nas três províncias da região sul de Moçambique.

ID	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Província
01	Inhambane	-23 ⁰ 52'	35 ⁰ 23'	14,0	Inhambane
02	Inharrime	-24 ⁰ 29'	35 ⁰ 01'	43,0	Inhambane
03	Panda	-24 ⁰ 03'	34 ⁰ 43'	150,0	Inhambane
04	Vilanculos	-22 ⁰ 00'	35 ⁰ 19'	20,0	Inhambane
05	Manjacaze	-24 ⁰ 43'	33 ⁰ 53'	65,0	Gaza
06	Maniquenique	-24 ⁰ 44'	33 ⁰ 32'	13,0	Gaza
07	Xai-xai	-25,03	33 ⁰ 38'	4,0	Gaza
08	Vila Macia	-25 ⁰ 02'	33 ⁰ 06'	56,0	Gaza
09	Maputo Obs.	-25 ⁰ 58'	32 ⁰ 36'	60,0	Maputo
10	Changalane	-26 ⁰ 18'	32 ⁰ 11'	100,0	Maputo
11	Umbeluzi	-26 ⁰ 03'	32 ⁰ 23'	12,0	Maputo

Fonte: INAM (2007).

1.3.4 Análise de agrupamento

A análise de agrupamento (AA) (*cluster analysis*) é uma variedade de técnicas e algoritmos, cujo propósito fundamental é encontrar e separar objetos em grupos homogêneos. Essa análise pode ser aplicada, por exemplo, num estudo com diferentes dados de várias regiões do país. Desse modo, o problema da análise de agrupamento de uma dada amostra de n objetos (ou indivíduos), cada um deles medido segundo p variáveis, pretende procurar um esquema de classificação que agrupe os objetos em g grupos, exigindo-se conceitos científicos mais sofisticados de homogeneidade (GIMENES *et al.*, 2003).

A técnica de AA é interessante, principalmente sob o aspecto descritivo, pois seu resultado final, nos métodos é um gráfico de esquemas hierárquico denominado *dendograma*. Este representa uma síntese dos resultados, o que ocasiona certa perda de informações. Ainda assim, e no caso dessa perda ser pequena, o resumo da informação torna-se mais fácil de ser manipulado e armazenado, sendo importante para a comparação, classificação e discussão do material estudado (GIMENES *et al.*, 2003).

Quando se dispõe de uma série de indivíduos (variáveis) não previamente relacionados e se deseja encontrar uma maneira de descrever seus padrões de similaridade mútua, um dos métodos utilizados com esta finalidade é a AA (MEZZOMO, 2005).

Assim, para auxiliar na identificação de regiões e dos sistemas meteorológicos que atuam na região Sul de Moçambique, e também nas análises de qualidade dos dados de precipitação aplicou-se a técnica de AA. No agrupamento das estações com precipitações homogêneas foi usado o método hierárquico aglomerativo de Ward (WARD, 1963), com a distância Euclidiana ao quadrado como medida de dissimilaridade. O método de Ward é um método de variância derivado de um processo hierárquico e aglomerativo. O método tem por objetivo minimizar o quadrado da distância euclidiana às médias dos grupos. A distância euclidiana é a raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças de valores para cada variável. Este é um dos métodos mais utilizados em estudos de AA e mostrou-se adequado às características das variáveis em consideração neste estudo (FECHINE e GALVÍNCIO, 2008; LYRA *et al.*, 2006):

$$d_e = \left[\sum_{j=1}^n (P_{pj} - P_{kj})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

em que, d_e é a distância euclidiana; $P_{p,j}$ e $P_{k,j}$ são as variáveis quantitativas j dos indivíduos p e k , respectivamente.

O método de Ward consiste em formar grupos, minimizando a dissimilaridade ou minimizando o total das somas de quadrados dentro de grupos, também conhecida como soma de quadrados dos desvios (SQD). Em cada etapa do procedimento, são formados grupos, de tal maneira que a solução resultante tenha o menor SQD dentro de grupos. Nessas etapas, são consideradas as uniões de todos os possíveis pares de grupos e os dois que resultam em menor aumento de SQD são agrupados até que todos os grupos formem um único, reunindo todos os indivíduos (EVERITT e DUNN, 1991).

1.3.5 Análise da qualidade e preenchimento de falhas dos dados de precipitação

A análise de qualidade foi realizada paralelamente ao preenchimento de falhas das séries. Estas séries tiveram suas falhas preenchidas através do método regressão linear proposto por KITE (1977), e recomendado pelo Boletim No 56 da *Food and Agriculture Organization da United Nations - FAO56* (ALLEN *et al.*, 1998).

Foi realizado o controle de qualidade dos dados de precipitação com base na análise exploratória das séries (estatística descritiva e Box-plot), sendo o Box-plot um gráfico configurado para identificar os *outliers* (valores discrepantes), valores que são bastante incomuns, no sentido de estarem muito afastados da maioria dos dados. Por exemplo, a identificação dos valores outliers é importante no cálculo da média aritmética que tem como característica a influência dos valores extremos (ARAUJO, 2012). O uso do método de Kite no Cap. 1 deveu-se a fato de os dados analisados serem mensais, enquanto que no Cap. 2 os dados analisados no aplicativo CLIMA serem diários.

O método de regressão linear simples quando aplicado ao preenchimento de falhas consiste em formar, inicialmente, uma matriz de correlação entre todas as estações do conjunto de dados. As estações, com alto grau de coeficiente de determinação entre elas ($r^2 \geq 0,7$) e de coeficiente angular da regressão ($0,7 < b < 1,3$) foram consideradas aptas para o

preenchimento. Por último, foi levada em consideração a proximidade física entre as estações e os grupos formados pela análise de agrupamento, de forma a garantir maior homogeneidade entre elas. Depois de obtidos os grupos definitivos de estações com precipitações homogêneas, para cada estação (Y) a ser preenchida as falhas, construiu-se uma série de referência (X_i), com a média aritmética das precipitações das demais estações do mesmo grupo. Baseado nessas séries, ajustou-se uma regressão linear ($Y_i = a + b X_i$), em que a é o intercepto e b o coeficiente angular da regressão, que foi usada para preencher as falhas. A série de precipitações X_i foi então utilizada para preencher as falhas das séries (Y_i) da estação Y.

1.3.6 Análise do SPI

Vários índices estatísticos são utilizados para avaliar a severidade da seca, dentre os quais um dos mais utilizados é o índice de precipitação padronizada (*standartized precipitation index - SPI*), desenvolvido e aperfeiçoado por McKee *et al.*, (1993). O SPI permite avaliar o déficit de precipitação em múltiplas escalas temporais (mensal, trimestral, semestral, anual e bienal). Porém as menores escalas (mensal, trimestral até semestral), permitem aceder à seca meteorológica e agrícola⁴, enquanto a escala bienal permite perceber o impacto da seca nos aquíferos que devido à sua resiliência, possui uma capacidade de resposta mais lenta. Essas escalas refletem o impacto sobre a disponibilidade hídrica em uma região, por exemplo, a umidade do solo responde a anomalia de precipitação em uma escala de tempo relativamente curta, enquanto as águas subterrâneas e armazenamento de água em reservatórios em longo prazo (SANTOS e PORTELA, 2010).

Os valores do SPI representam, portanto, precipitações padronizadas. Um valor do índice igual a zero é indicativo de que não houve desvios nos valores da precipitação relativamente à precipitação média no período analisado. Valores positivos do SPI indicam

⁴ Considerando as consequências da escassez hídrica, pode-se distinguir entre secas a meteorológica, a agrícola e a hidrológica. Para uma dada região, Santos e Portela (2010) consideram estar-se perante uma seca meteorológica e/ou climatológica quando a precipitação se mantém inferior à média de forma continuada ao longo do tempo. A seca agrícola ocorre quando se registra um déficit de umidade no solo que não permite satisfazer as necessidades de crescimento de uma cultura em qualquer um dos seus estádios de crescimento, enquanto que a seca hidrológica está associada a valores anormalmente baixos dos caudais fluviais e dos volumes armazenados em albufeiras e nos sistemas aquíferos. Considera-se, ainda, ocorrer uma seca sócio-econômica quando a escassez de água é de tal ordem acentuada que tem consequências negativas nas pessoas e nas atividades econômicas, ou seja, na sociedade em geral (SANTOS e PORTELA, 2010).

que a precipitação é superior à média, enquanto valores negativos indicam que a precipitação é inferior àquela média. Assim, períodos de seca são caracterizados por valores negativos do SPI. O SPI é um índice usado na detecção de valores anômalos em relação a valores médios (SANTOS e PORTELA, 2010). Os valores de SPI Observado (SPI-OBS) são variáveis de acordo com cada categoria conforme a Tabela 2, baseada nas propostas de McKee *et al.*, (1993; 1995), para as categorias de SPI correspondentes a seca com diferentes intensidades, assim como os respectivos intervalos de probabilidade de não excedência expressa em percentagem.

Tabela 2: Categorias e intervalos de classificação do Índice de Precipitação Padronizado (*Standardised Precipitation Index - SPI*) observado para identificação dos modos de variabilidade climática.

Intensidades da Seca e Umidade		
Índices de SPI	Categorias	Probabilidade de não excedência
$\geq 2,00$	Extremamente úmido	***
1,00 a 1,44	Muito úmido	***
1,50 a 1,99	Moderadamente úmido	***
-0,99 a 0,99	Normal ou próximo ao normal	16,1 a 50,0%
-1,50 a -1,99	Moderadamente seco	6,8 a 15,9%
-1,00 a -1,44	Muito seco	2,3 a 6,7%
$\leq -2,00$	Extremamente seco	< 2,3%

Nas séries com as falhas já preenchidas e homogeneizadas, foi estimado o SPI anual. O SPI é um método que se baseia em longas séries (> 20 anos) de precipitação pluvial, e que pode ser ajustado através da distribuição gama, que em seguida é transformada para distribuição normal padronizada, que apresenta média zero e variância unitária - $N[0,1]$. No presente trabalho, o SPI foi calculado para as regiões fisiográficas da RSM apenas para escala anual. O cálculo do SPI consistiu em ajustar a função densidade de probabilidade gama, a uma dada distribuição de frequência total das séries das precipitações anuais para as estações e, depois determinados os parâmetros de forma (α) e escala (β) da função densidade de probabilidade (LYRA *et al.*, 2006).

Utilizou-se o Método da Máxima Verossimilhança (MMV) para a estimativa desses parâmetros (THOM, 1966). Os MMV e o Método dos Momentos (MM) são os mais comumente utilizados, mas, Thom (1958), recomenda que se deva utilizar o da MV devido

suas melhores propriedades. Conforme Thom (1958), para valores de α maiores ou iguais a 100, a distribuição gama se aproxima da distribuição normal. O parâmetro β indica o grau de dispersão entre os dados da série estudada.

Determinados os parâmetros da função gama, calcularam-se as probabilidades cumulativas de um evento de precipitação observado para a escala anual. A função de probabilidade cumulativa foi dada por:

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (2)$$

em que, $F(x)$ é a probabilidade de ocorrer um valor menor ou igual a x ; x a variável aleatória contínua; $\Gamma(x)$ é a função gama de parâmetro alfa; α é o parâmetro de forma; β o parâmetro de escala; e o número de Neper (2,718...).

O uso de valores do SPI anuais no estudo foi para comparar os anos secos ou úmidos, aos de ocorrência dos modos de variabilidade (ENOS, ODP, DOI). A realização desta análise objetivou-se em identificar os componentes harmônicos de cada série, correspondentes aos três grupos homogêneos e das estações não agrupadas (G1, G2, G3 e ND_g), que serão discutidos posteriormente.

1.3.7 Análise Harmônica e Espectral

Na análise Harmônica e Espectral (AHE) foram aplicadas as séries temporais do SPI anual determinado para as estações dos grupos de precipitações homogêneas. Foi aplicada a Análise Harmônica, baseada nas combinações de funções senos e cossenos, para identificação dos possíveis harmônicos existentes e a análise espectral para identificar a importância de cada harmônico na composição do modelo de séries contínuas de SPI anual para a RSM. Utilizaram-se dados de 44 anos (1960 a 2004), para a AHE e para a identificação de sinais dos MVC, citados anteriormente.

O objetivo básico da análise harmônica é o de aproximar uma função do tempo, por combinações de harmônicos nos quais a série pode ser decomposta. Para os eventos cíclicos

determinísticos, nos quais a série de dados varia no tempo, podem ser representados como combinações de funções senos e cossenos (Análise Harmônica). A análise do domínio das frequências (Análise Espectral) desses eventos permite avaliar a contribuição de diferentes escalas de tempo na composição da série (WILKS, 2006).

Qualquer série de dados de n amostras pode ser representada exatamente pela combinação de senos e cossenos, que oscilam em torno de um valor médio (\bar{y}), ajustados a $n/2$ funções harmônicas, de acordo com as equações seguintes:

$$y_t = \bar{y} + \sum_{k=1}^{\frac{n}{2}} \left\{ C_k \cos \left[\frac{2\pi kt}{n} - \Phi_k \right] \right\} = \bar{y} + \sum_{k=1}^{\frac{n}{2}} \left\{ A_k \cos \left[\frac{2\pi kt}{n} \right] + B_k \text{sen} \left[\frac{2\pi kt}{n} \right] \right\} \quad (3)$$

em que: k é um inteiro que varia até $n/2$, $C_k = \left[(A_k^2 + B_k^2)^{1/2} \right]$ é a amplitude; $\Phi_k = [\arctan(B_k / A_k)]$ é o ângulo de fase do harmônico; t é o tempo. Na prática, C_k é o valor máximo em torno do qual a média flutua e Φ_k é o ângulo que representa o tempo onde a função harmônica é máxima. Os coeficientes $A_k = [C_k \cos(\Phi_k)]$ e $B_k = [C_k \text{sen}(\Phi_k)]$ foram ajustados às séries anuais de SPI pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), considerando a função harmônica como uma regressão não linear múltipla.

Não é prático se utilizar todos os harmônicos possíveis ($n/2$) para representar a série. Na definição das frequências nas quais os harmônicos representam a maior parte da variabilidade da série se aplica à análise espectral. Como as relações entre as variáveis estimadoras dos harmônicos e a série de dados y_t independem das demais funções harmônicas, que também podem ser usadas para representar a série, a proporção da variância de y_t representada por cada harmônico também é invariável. Expressando essa proporção como r^2 , frequentemente aplicado em análises de regressão, definiu-se o r^2 para o k -ésimo harmônico como segue:

$$r^2 = \frac{n/2C_k^2}{(n-1)S_y^2} \quad (4)$$

em que, o numerador é a soma dos quadrados da regressão para o k -ésimo harmônico e S_y^2 é a variância da amostra e, assim, o denominador representa a soma dos quadrados total. Ou seja, $r^2 = \sum_{k=1}^n r_k^2$. No presente caso, a análise espectral se baseou na variação do r_k^2 em função da frequência, sendo considerados apenas o primeiro e segundo harmônicos das séries anuais de SPI.

1.3.8 Modos de Variabilidade Climática

Para este estudo foram feitas análises do SPI anual com os eventos de ENOS⁵ classificados pelo Multivariate ENSO Index (MEI) (WOLTER e TIMLIN, 1993; 1998), que é baseado em seis variáveis (pressão ao nível do mar, componentes zonal e meridional do vento à superfície, a temperatura da superfície do mar, temperatura do ar à superfície e fração total de nebulosidade do céu) sobre o Pacífico Tropical. Considerou-se o ano como El-Niño (La-Niña) quando o MEI manteve-se por mais de seis meses consecutivos com valor maior que +0,5 °C e menor que -0,5 °C, no caso de se encontrar entre o intervalo de $\pm 0,5$ °C por mais de seis meses o ano foi classificado como neutro.

A fase (fria/quente) da ODP foi identificada com base no índice de ODP (ZHANG *et al.*, 1997; MANTUA *et al.*, 1997).

As fases (positiva/negativa) do DOI são normalmente, representadas pelo gradiente da TSM anômala entre a parte Ocidental (50° E a 70° E e 10° S a 10° N) e Oriental (90° E a 110° E e 10° S a 0° N) do Oceano Índico equatorial. Este gradiente é denominado como Índice de Dipolo (*Dipole Mode Index* - DMI). Quando o DMI é positivo, então, o fenômeno é considerado como DOI positivo e quando é negativo, é considerado como DOI negativo. Uma vez que, DOI é um fenômeno acoplado oceano-atmosfera também pode ser representado por

⁵ Existem vários índices que são frequentemente utilizados para identificar o ENOS e quantificar a sua intensidade. O mais comum destes índices é o Índice de Oscilação Sul (IOS), calculado em áreas específicas. Uma dessas áreas é a chamada Região Niño 4, situada a 160°Este-150°Oeste e 5°S- 5°N. Outra é a Região Niño 3.4, localizada a 5°S-5°N, 120°-170°O. Esse índice é definido como a diferença entre os desvios normalizados da pressão na superfície entre as regiões do Tahiti (18°, 150°O), no Pacífico central-sul e em Darwin (12°S, 131°E), ao norte da Austrália constituindo um dos principais indicadores utilizados no monitoramento do ENOS. A National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), considera como um evento ENOS, o limite de +/- 0,5°C para a anomalia da TSM da região Niño 3.4 observada em pelo menos cinco trimestres (TREMBERTH, 1997; SILVA *et al.*, 2012).

qualquer outro parâmetro atmosférico, como por exemplo, pressão atmosférica, Radiação de Ondas Longas (ROL), do Inglês (*Outgoing Long-wave Radiation - OLR*) ou Oceanográfico (altura da superfície do mar). O DOIS é representado pelo gradiente anômalo da TSM da parte Oriental (55° E a 65° E; 37° S a 27° S) e Oriental (9° E a 100° E; 28° S a 18° S), do Oceano Índico Subtropical (SAJI *et al.*, 1999; MEYERS *et al.*, 2007; NAKAMURA *et al.*, 2009).

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 Análise de agrupamento

A Figura 10 mostra o dendrograma com resultado resumido da análise de agrupamento pelo método de Ward para a precipitação pluvial das 11 estações do Sul de Moçambique. A Figura 11 apresenta a distribuição espacial dos grupos de estações meteorológicas com precipitações homogêneas na região sul de Moçambique.

Com auxílio da técnica da AA foram identificados três grupos de estações com precipitações homogêneas (grupo 1 - G1, grupo 2 - G2 e grupo 3 -G3), além desses grupos, três estações não foram agrupadas (ND_g) (Figura 10). Constituíram o G1 as estações de Inhambane (ID1), Panda (ID3) e Vilanculos (ID4) todas na província de Inhambane (Figura 6). ID1 e ID4 localizam-se próximas ao litoral, enquanto ID3 se encontra na parte do interior do continente em relação as duas primeiras; formaram o G2 (ID5 - Manjacaze, ID6 – Maniquenique, na parte intermediária e ID9 – Maputo Obs. no litoral), ID5 e ID6 localizadas em Gaza e ID9 em Maputo; formaram o G3 (ID10 – Changalane, na parte do interior e ID11 – Umbeluzi, na parte do litoral), localizadas ao sul de Maputo e por fim as estações de ND_g (ID2 – Inharrime, ID7 – Xai-xai e ID8 – Vila Macia), todas próximas ao litoral.

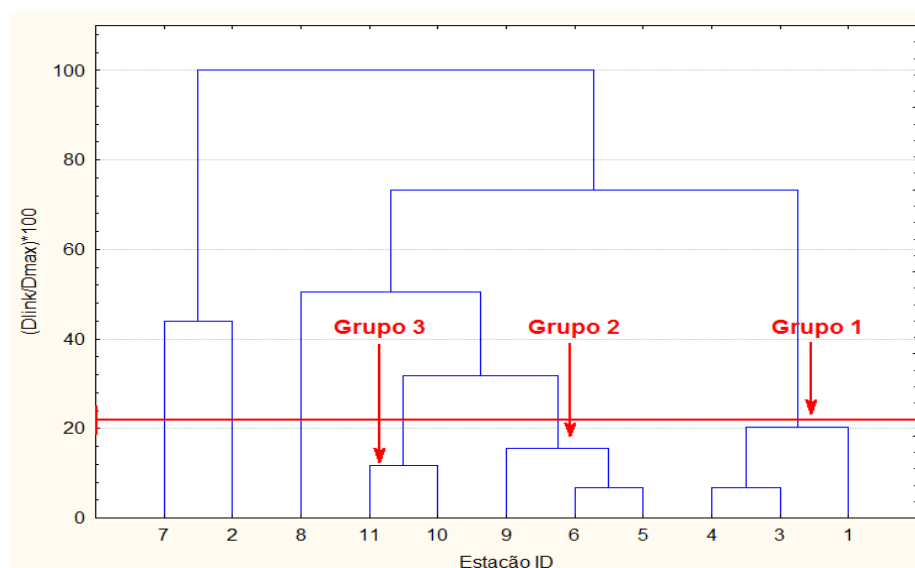


Figura 10: Dendrograma com dados padronizados de precipitação média anual de 11 estações meteorológicas da região sul de Moçambique, no período de 1960 a 2004, obtidos pelo método de Ward.

No entanto, as estações (ID2, ID7 e ID8) não foram incluídas em nenhum dos grupos por não apresentarem características homogêneas de precipitação (SCHULZ, 1973), com nenhuma das estações avaliadas. Contudo, as estações ID2 e ID7 mostraram menores medidas de dissimilaridade entre si em relação às demais estações, enquanto ID8 teve medida de dissimilaridade próxima das estações do G2 e G3.

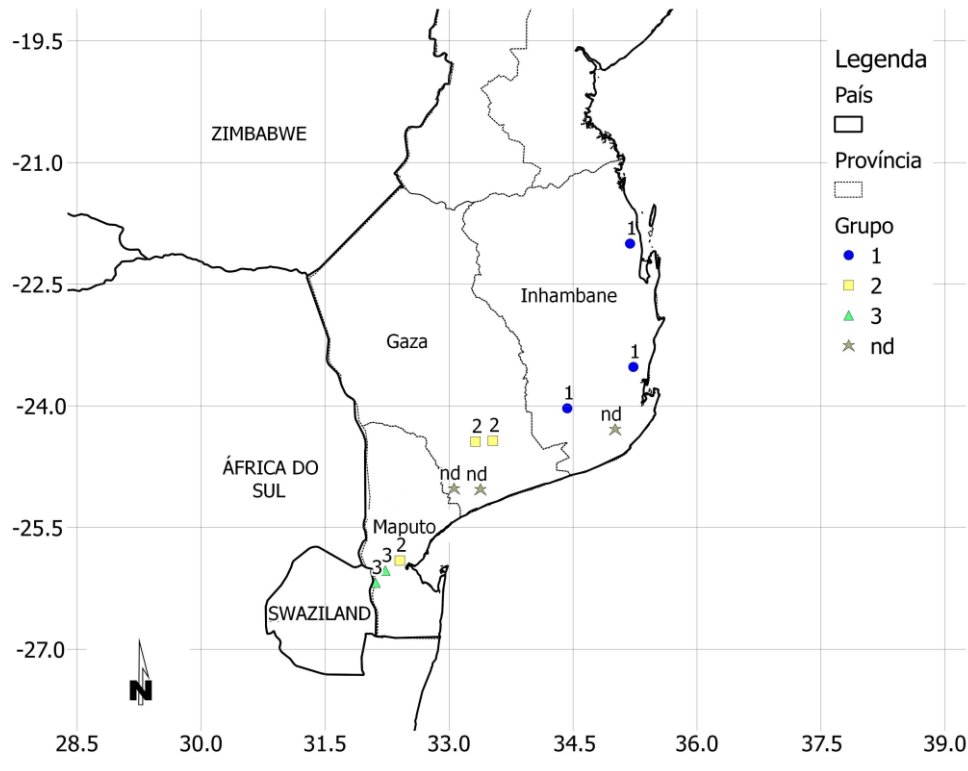


Figura 11: Distribuição dos grupos homogêneos das estações da região estudada.

1.4.2 Variabilidade temporal e espacial da precipitação

A análise da variabilidade temporal e espacial da precipitação neste estudo foi realizada baseando-se na distribuição e localização espacial das estações dos três grupos e as não agrupadas.

Grupo 1 (G1): As estações (G1–ID1 e ID4) distribuem-se ao longo da faixa litorânea no sentido N-S e (G1–ID3) no sentido E-W. As médias anuais registradas foram de $718,4 \pm 226$ mm (ID3 - Panda) a $894,4 \pm 265$ mm (ID1 - Inhambane). A ID4 (Vilanculos com 799 ± 251 mm). Na faixa da área litorânea (entre a cidade de Inhambane e o distrito de Inharrime) se registram valores anuais de precipitação pluvial entre 1.000 a 1.400 mm (BARCA e

SANTOS, 1995; INDE, 2009). As estações (ID1 e ID4) estão localizadas na região do litoral, onde os valores médios anuais estão na faixa entre 800 a 1.200 mm e a ID3 no interior, inserida na faixa de valores médios anuais que variam entre 600 a 800 mm (BARCA e SANTOS, 1995; INDE, 2009).

Na análise intranual foram consideradas as médias mensais com os valores iguais ou superiores a 60 mm, levando em conta a definição sugerida por Faria (1965), em que considera o mês seco aquele em que a quantidade de precipitação é em média inferior a 60 mm, enquanto o mês chuvoso é aquele que registra valores superiores a 60 mm. Bagnouls e Gaussens (1953) consideram o mês seco aquele no qual se registram menos de 50 mm de chuva, a uma temperatura do ar média entre 20 a 30 °C ou quando se registram menos de 75 mm, a uma temperatura do ar média superior a 30 °C. Esta definição exprime-se, no entanto, de forma contínua e considera o mês seco aquele em que o total mensal da precipitação é igual ou menor que o dobro da temperatura do ar média, ou seja, se expressa como: $MêsSeco \Rightarrow P \leq 2 * T$, em que, P é a precipitação e T a temperatura do ar (GALVANI, 2005). Embora as temperaturas do ar médias anuais na região de estudo, variem geralmente entre 20 e 26 °C (BARCA e SANTOS, 1995).

A duração do período chuvoso no G1 variou entre os meses de novembro a abril, dependendo da estação. Em Inhambane e Panda o período chuvoso iniciou em novembro, enquanto em Vilanculos o início foi em dezembro. O final do período chuvoso em Vilanculos ocorreu no mesmo mês (março) e em abril para Inhambane. Verificou-se uma diferença de dois a três meses em relação aos estudos realizados por diversos autores (FARIA e GONÇALVES, 1968; VAZ, 1997; CUMBE, 2007; UELE, 2008). Assim, o período seco foi de seis a oito meses, dependendo da estação.

Os acumulados mensais registrados no G1 no período chuvoso variaram de $511,8 \pm 27$ mm (ID3 - NDJFM) a $669,5 \pm 32$ mm (ID1 - NDJFMA). O maior acumulado no período chuvoso foi registrado na estação ID1 correspondeu a 74,8% do total anual, enquanto o menor correspondeu a 64,9% (ID4) do total anual. Na ID3 registrou-se em quatro meses (DJFM) um total mensal de $518,2 \pm 15$ mm, que correspondeu a 71,2% do total anual.

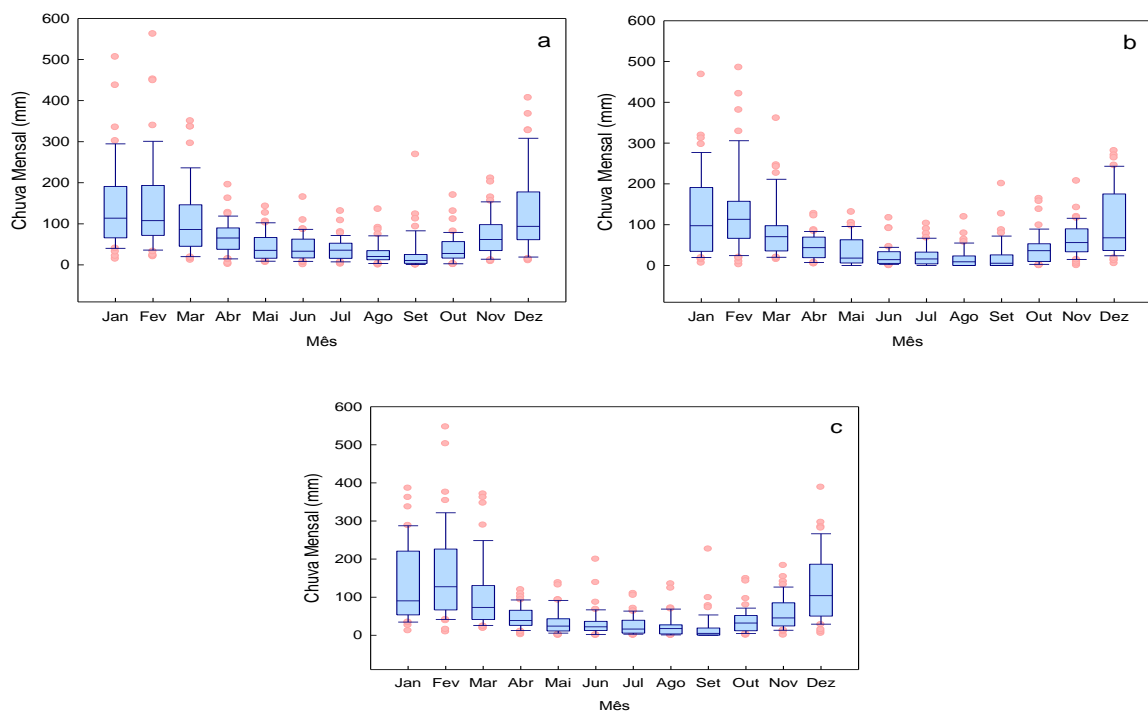


Figura 12: Boxplot de precipitação homogênea das estações: a) Inhambane, b) Panda e c) Vilanculos do grupo G1 na região Sul de Moçambique, no período de 1960-2004.

O período seco em ID1 representou seis meses (maio-outubro) e correspondeu a 25,2% do total anual. Na ID3 o período seco compreendeu sete meses (abril-outubro) e representou 28,8% do total anual. Na ID4 ocorreu em oito meses (abril-novembro), o mais extenso período seco de todas as estações, que correspondeu a 35,1% do total anual, como mostra a Figura 12. O maior e mais intenso período seco ocorreu na estação ID3 (G1) com maior distância ao ambiente costeiro, enquanto as próximas do litoral, o período seco diminuiu seu comprimento na direção N-S.

Sistemas locais, como brisas marítimas, terrestres e lacustres, causadas principalmente pelo movimento do ar e a diferença de aquecimento entre as superfícies continente e do oceano e o efeito da continentalidade, também desempenham influência importante na distribuição das chuvas ao longo da faixa litoral (norte da cidade de Inhambane - Baía de Inhambane e parte sudeste de Inharrime – Lagos Poelala e Dongane) e a continentalidade na região do interior. Conforme o aspecto supracitado por Vaz (1997), o efeito da continentalidade é mais notável nas regiões do interior das províncias de Gaza e Inhambane. Vale acrescentar que em média duas ou três vezes ao ano, ocorrem CT que atinge esta região do litoral durante o verão (DJF). Estas perturbações geralmente dissipam-se na área costeira e,

raramente alcançam o interior exceto a região a sul do paralelo 24° S, especificamente nos distritos de Inharrime e Zavala.

Durante o inverno é frequente esta região do litoral ser atingida pelas FF, provenientes da zona polar sul. No entanto, durante esta época elas contribuem para a maior parte das chuvas que ocorrem na região sul do país. Estas frentes condicionam a existência da segunda época agrícola na região litorânea do país (ROJAS e AMADE, 1996; UELE, 2008).

Grupo 2 (G2): A distribuição das estações do G2 foi parte no continente (ID5 e ID6) e uma próxima ao ambiente costeiro ID9. Os valores médios anuais da precipitação variaram de $774,4 \pm 227$ mm (ID6 - Maniquenique) a $805,1 \pm 273$ mm (ID9 – Maputo Obs.). A ID5 (Manjacaze) apresentou acumulado anual de $784,4 \pm 235$ mm. As estações ID5 e ID6, fazem parte da faixa de totais anuais de chuva entre 800 a 1.000 mm. Enquanto a estação ID9 está localizada junto ao litoral, próximo da Baía de Maputo (maior do país) e, encontra-se inserida na faixa das médias anuais entre os 600 a 800 mm (BARCA e SANTOS, 1995; INDE, 2009).

No G2, na estação ID9 o período chuvoso compreendeu seis meses (outubro-março), enquanto nas estações ID5 e ID6 esse período foi observado também em seis meses, iniciando um mês depois (novembro-abril). Os valores mensais registrados no G2, durante o período chuvoso variaram de $567,4 \pm 17$ mm (ID6), correspondente a 73,3% do total anual a $632,4 \pm 35$ mm (ID9), que representou 78,6% do total anual. Os valores de $578,1 \pm 20$ e na (ID6) $567,4 \pm 17$ mm, correspondentes a 73,3% do total anual.

Similarmente como sucede no grupo G1, a região do litoral sul onde se localizam as estações do G2, sofre igualmente a influência dos CT, FFS, massas de ar marítimo e na região do interior prevalecem as influências da altitude (uma estreita faixa de Gaza junto à fronteira com Zimbabuè e África do Sul), e continentalidade (região de Pafúri, Chicualacuala e Massingir). Vale salientar que esta porção faz parte do limite da região do Deserto de Calaári, situada entre o paralelo 22° S e o Trópico de Capricórnio que se prolonga pela parte sul de Bulawayo (Zimbabuè), norte de Polokwane e Phalaborwa (África do Sul) até Moçambique.

De acordo com Cumbe (2007), a periodicidade das chuvas em algumas regiões do litoral é aproximadamente de seis meses. Na província de Gaza (G2-ID5 e ID6) e Maputo (G2-ID9), a periodicidade do período chuvosa aumenta gradualmente de quatro meses no

interior do continente para oito meses no litoral (FARIA e GONÇALVES, 1968; VAZ, 1997). O período seco foi de seis meses em todas as estações, compreendendo os meses de abril a setembro (ID9) e maio-outubro (ID5 e ID6). Nas estações ID5 e ID6, o período seco correspondeu respectivamente a 26,3 e 26,7% do total anual (ID5). Na ID9 o período seco correspondeu a 21,4% do total anual (Figura 13).

Similar ao G1, a maior (menor) contribuição do período chuvoso (seco) para os totais anuais foram observados nas estações próximas ao litoral em relação as do continente. Contudo, as estações do G2 para região continente no ambiente costeiro mostraram maior (menor) contribuição do período chuva (seco) no total anual em relação a estações do G1 em regiões similares, além de maior (menor) duração dos períodos chuvoso (seco). A exceção foi Inhambane, onde o comprimento dos períodos coincidiu com Maputo Obs.

As análises realizadas neste estudo corroboram com os estudos realizados pelos autores acima citados, pois se constatou essa periodicidade, embora tenha se diferenciado em um a dois meses, em função das diferenças entre os métodos considerados para definição dos períodos chuvos e seco. Porém, observou-se uma exceção na região do interior de Gaza (Pafúri, Chicualacuala e Massingir), onde a duração do período das chuvas é de apenas dois meses (FARIA e GONÇALVES, 1968), com valores médios anuais de precipitação na faixa entre 0 e 400 mm, os mais baixos do país (BARCA e SANTOS, 1995).

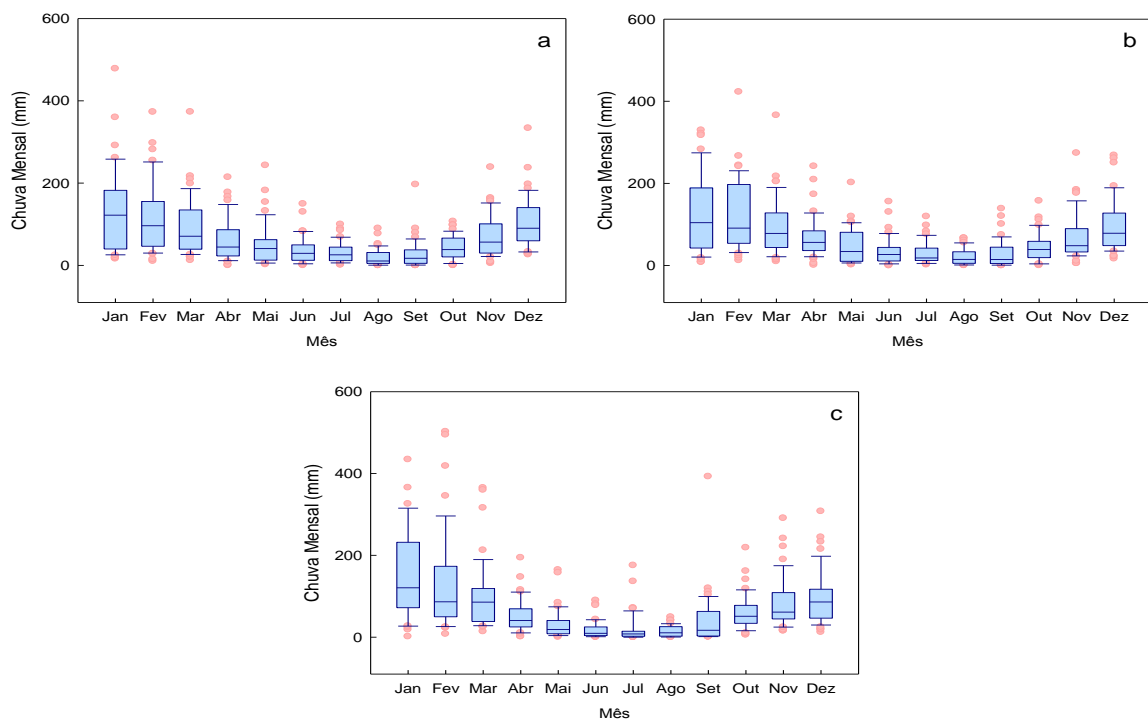


Figura 13: Boxplot de precipitação homogênea das estações: a) Manjacaze, b) Maniquenique e c) Maputo Observatório do grupo G2 na região Sul de Moçambique, no período de 1960-2004.

Grupo 3 (G3): No G3 a distribuição das estações foi no sentido NE-SW (G3 - ID11 e ID10), sendo na direção litoral - interior. Neste grupo, os valores anuais registrados nas estações variaram de $702,3 \pm 229$ mm (ID11 – Umbeluzi) a $719,6 \pm 212$ mm (ID10 – Changalane). Os totais anuais das estações do G3 foram inferiores as das estações do G1 e G2, com exceção de ID3 (G1), que foi próxima de ID10 (G3). A ID11 está localizada próximo do litoral, junto ao leito do rio Umbeluzi. A ID10 se encontra localizada na região do interior a SW da cidade de Maputo e a sul do paralelo 26° S. Uma particularidade das estações do G3, é de ambas estarem inseridas na faixa das médias anuais entre os 600 a 800 mm, de acordo com distribuição realizada por Barca e Santos (1995) e INDE (2009).

As estações ID10 e ID11 registraram cinco meses caracterizados como período chuvoso (novembro-março). O período chuvoso do G3 foi caracterizado por acumulados mensais que variaram de $507,9 \pm 24$ mm (ID11), correspondente a 72,3% do total anual a 518 ± 25 mm (ID10), correspondente a 72% do total anual. O período seco foi de sete meses para ambas as estações (abril-outubro), que corresponderam a 28 e 27,7% dos totais anuais para ID10 e ID 11, respectivamente (Figura 14).

Tal como comentado no grupo anterior, por um lado, o litoral da província de Maputo é afetado com maior frequência por CT, FFS e pelas massas de ar marítimo. Por outro lado, o interior desta província onde se encontra localizada a ID10, está dentro de uma estreita faixa com altitudes entre 100 a 200 m, em que o movimento ascendente das massas de ar, mesmo sem ter maior relevância, é influenciado pelo fator altitude que contribui para a ocorrência da chuva nesta região. No entanto, nesta região também prevalece a influência da continentalidade cuja variação ocorre na altura em que as massas de ar úmido marítimo vão perdendo a umidade à medida que se movimentam para o interior (VAZ, 1997).

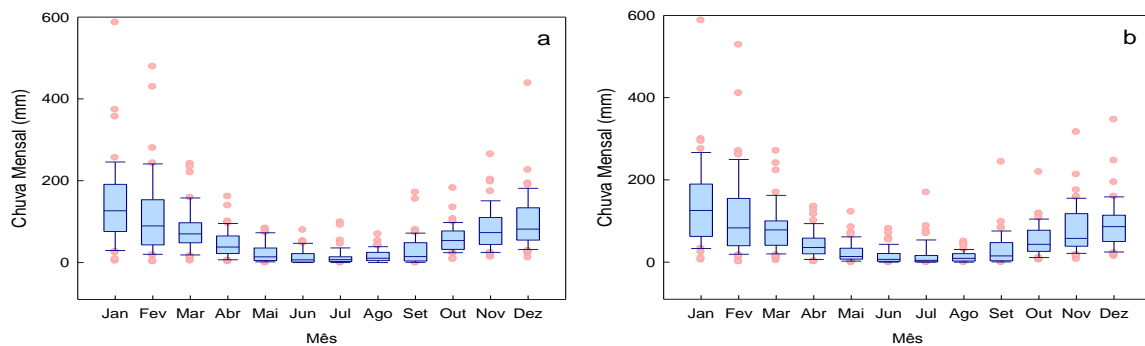


Figura 14: Boxplot de precipitação homogênea das estações: a) Changalane e b) Umbeluzi do grupo G3 na região Sul de Moçambique, no período de 1960-2004.

ND_g: As estações não agrupadas foram elas: (ID2 – Inharrime, ID7 – Xai-xai e ID8 – Vila Macia). As estações do ND_g estão dispostas ao longo da costa, na orientação NE-SW, (ID2 e ID7) e (ID8) na orientação E-W, em relação as duas primeiras. Os valores médios anuais de precipitação variaram entre $906,3 \pm 256$ (ID2) a $967,9 \pm 285$ mm (ID7), enquanto na ID8 o total anual foi de $913,8 \pm 242$ mm. As estações ID2 e ID7 estão inseridas na faixa das médias anuais, que varia entre os 1.000 a 1.400 mm, com a exceção da ID8, que se encontra na faixa que varia entre 800 a 1.000 mm (BARCA e SANTOS, 1995; INDE, 2009). As estações que não formaram grupo pela análise de agrupamento apresentaram os maiores totais anuais entre as estações do Sul de Moçambique avaliadas no presente estudo, com exceção de Inhambane com total anual similar a ID2 e ID8.

Os valores mensais registrados durante o período chuvoso no ND_g, variaram entre $638,3 \pm 30$ (ID2) a 851 ± 22 mm (ID7). O valor registrado na ID2 correspondeu a 70,4% do total anual, enquanto que o observado na ID7, esse representou 87,9% do total anual. Na ID7

o período chuvoso foi de nove meses consecutivos (outubro-junho). Este fato pode estar associado com contribuição da bacia do rio Limpopo onde está inserida a ID7, concretamente na extensão do Baixo Limpopo entre o distrito de Chokwè e Xai-xai, onde os valores de precipitação variam entre 750 a 800 mm, que de certa maneira pode ampliar o período chuvoso e a presença das FFS, que atingem esta região durante o inverno, e que condicionam a segunda época agrícola na região litorânea da RSM (ROJAS e AMADE, 1996; UELE, 2008). Nas estações ID2 e ID8 o período chuvoso configurou-se durante seis meses (novembro-abril), nos quais foram registrados $638,3 \pm 30$ e $653,8 \pm 21$ mm, respectivamente.

A periodicidade das chuvas em ND_g variou entre os meses de outubro a junho, isto é, nove meses com chuva, sendo o mais longo período observado nas estações agrupadas, que se diferenciou entre um a cinco meses com os estudos dos autores anteriormente citados. O período seco foi de três a seis meses. Nas estações ID2 e ID8 ocorreu em seis meses (maio-outubro), que corresponderam a 29,6 e 28,5% dos totais anuais. Para a ID7 ocorreu em três meses, que correspondeu a 12,1% do total anual. Interessante é o fato de a ID7, ser a única estação que apresentou o mais longo período chuvoso e mais curto período seco (Figura 15).

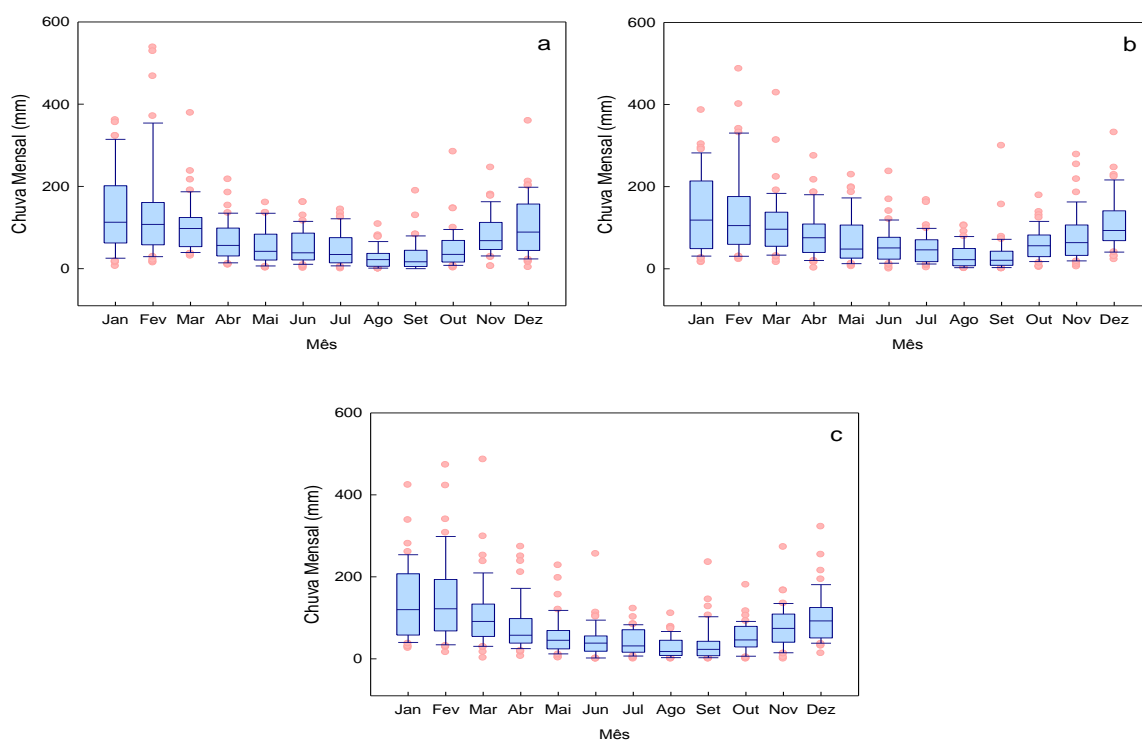


Figura 15: Boxplot de precipitação homogênea das estações: a) Inharrime, b) Xai-xai e c) Vila Macia do NDg na região Sul de Moçambique, no período de 1960-2004.

Os máximos valores da precipitação, tanto anuais como os acumulados no período chuvoso ao nível dos grupos, registraram-se na estação do ND_g (ID7 – $967,9 \pm 285$ e 851 ± 22 mm, respectivamente). O valor mínimo da precipitação anual registrado foi de $702,3 \pm 229$ mm e o valor mínimo do período chuvoso foi de $507,9 \pm 24$ mm (ID11). Quanto à periodicidade do período chuvoso o ND_g, registrou o maior período de meses com chuva (nove meses), tendo variado entre os meses de outubro a junho concretamente na ID7. O período seco mais longo ocorreu no (G1 - ID4), em oito meses consecutivos (AMJJASON) correspondentes a 35,1% do total anual, enquanto que o mais curto ocorreu na ID7, em três meses (JAS) que correspondeu a 12,1% do total anual.

Os resultados discutidos neste estudo resultaram da análise da variabilidade temporal e espacial da precipitação, de acordo com distribuição e localização dos grupos homogêneos formados. Cada grupo apresentou resultados diferenciados, mas com certa similaridade considerando que se encontram inseridas na mesma região com as mesmas características, apenas com algumas particularidades.

A distribuição espacial da precipitação na RSM obedece, em geral, a da África Austral, em que seus totais diminuem gradualmente na direção oriente-ocidente, de modo que as regiões centrais e do interior do continente (algumas áreas do ocidente da RSM), se tornem semiáridas com as mais baixas e variáveis precipitações. A ZCIT é um dos sistemas meteorológicos importantes, que contribui para a variabilidade temporal e espacial da precipitação na RSM.

Naturalmente, a região da África Austral recebe maiores quantidades de precipitação anual durante os meses de novembro até março, à medida que a ZCIT se desloca para o sul. Quanto mais a sul esta se deslocar, maior é a probabilidade de ocorrência da precipitação no norte da RSM. Vale lembrar que o período chuvoso ocorre quando a ZCIT se move para o sul, e assim, induz as chuvas e, o período seco ocorre quando esta se afasta em direção ao norte (ALLABY e ALLABY, 1999).

Esta variabilidade da precipitação provocada pelo deslocamento da ZCIT pode ser explicada com base no trajeto que esta toma, durante os seus movimentos migratórios N-S e S-N. Durante a sua passagem em direção ao sul, em outubro-dezembro ela atua nas regiões norte e centro de Moçambique, onde em um período de aproximadamente quatro meses

alcança o extremo inferior sul e, no seu retorno tem outro período correspondente ao primeiro até alcançar o extremo superior norte, completando assim seu ciclo em oito a nove meses. Portanto, diante essa constatação conclui-se que o deslocamento da ZCIT, favorece a uma maior extensão do período chuvoso no centro e norte de Moçambique (aproximadamente oito a nove meses), enquanto que na RSM favorece a uma menor extensão do período chuvoso (aproximadamente quatro a seis meses).

1.4.3 Análise Harmônica e Espectral

Com auxílio da ferramenta da análise espectral identificaram-se três (ID1, 3, 5, 6, 7 e 8) ou quatro harmônicos (ID2, 4, 9, 10, 11) que explicaram a maior parte da variabilidade (r^2 entre 0,31 - ID5 a 0,52 - ID9 e ID10) das séries de SPI em relação à composição dos demais harmônicos. Os principais componentes harmônicos extraídos foram para escala decadal: 11, 22 ou 44 anos; e na escala interdecadal períodos entre 2,9 - 6,3 anos. Baseado nos períodos de oscilação dos principais modos de variabilidade climática atuantes na região da África Austral, a hipótese é que os harmônicos com períodos decadais podem estar associados aos modos de variabilidade ODP (30 - 50 anos) ou DOI, enquanto os interanuais provavelmente referem-se aos eventos de ENOS (18 - 36 meses).

Os componentes harmônicos decadais, com períodos de 44 foram observados em duas estações (G1 – ID3 e ND_g – ID2) da província de Inhambane; sete estações apresentaram período de 22 anos (G1 – ID1 e ID4; G2 – ID5 e ID6; ND_g – ID2, ID7, ID8). Apenas as estações localizadas na província de Maputo, extremo sul de Moçambique, não apresentaram harmônico de 22 anos (G2 – ID9, G3 – ID10 e ID11). Nessas estações, na escala decadal, se sobressaiu o período de 11 anos. Os harmônicos interanuais tiveram maior ocorrência em dois principais períodos 5,1 – 5,5 anos, não foi observado apenas em G1- ID1, e entre 2,9 – 3,7 observados em todas as estações. Nas estações de Maputo (ID9, ID10 e ID11), extraiu-se também um harmônico com período de 4 anos, enquanto em G1 - ID1 e ID4 o período de 6,3 anos completou os harmônicos.

Simultaneamente, foi realizada a avaliação do índice SPI (negativo/positivo), assim como a classificação dos anos em três categorias principais (seco, neutro e úmido) e suas subdivisões (moderado, muito e extremo), para auxiliar na identificação dos sinais dos modos de variabilidade climática (ODP, DOI e ENOS), baseando-se na classificação do SPI

apresentado na Tabela 2. Vale referir que a avaliação e classificação dos sinais dos modos de variabilidade climática apenas foram realizadas para os harmônicos interdecadais, considerando que os períodos dos harmônicos interanuais são menores, e que não cobrem a escala decadal, e sim trienais a pentanal, enquanto que os primeiros dois modos de variabilidade, autam na escala interdecadal. Os períodos interanuais foram avaliados em comparação com a classificação do SPI.

No G1 a ID3 o harmônico de período de 44 anos, apresentou dois intervalos de 22 anos positivos, em que ocorreram sete eventos de SPI da categoria úmida. (dois Extremamente Úmido – EU: 1978, 2000; um Muito Úmido – MU: 1962 e quatro Moderadamente Úmido – MDU: 1967, 1972, 1999, 2001); Os outros 22 anos foram negativos que ocorreram em único intervalo, dos quais ocorreram seis eventos de SPI da categoria seca (um Extremamente Seco – ES: 1982; três Muito Seco – MS: 1970, 1990, 1992 e dois Moderadamente Seco – MDS: 1986, 1995). Os restantes 32 anos foram observados eventos neutros (Tabela 3).

Tabela 3: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Panda do grupo 1.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente e Úmido	Extremamente e Seco	Muito Seco	Moderadamente e Seco
POSITIVO	1978 e 2000	1962	1967, 1972, 1999 e 2001	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1963, 1964, 1965, 1966, 1968, 1969, 1971, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1979, 1980, 1981, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1989, 1991, 1993, 1994, 1996, 1997, 1998, 2002, 2003 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	1982	1970, 1990 e 1992	1986 e 1995

As estações ID1 e ID4 apresentaram harmônicos de período igual a 22 anos, em que os intervalos dos anos positivos e negativos foram iguais. A metade dos anos foi de SPI positivo na ID1 (1960 – 1962; 1974 – 1984; 1996 – 2004), desses anos ocorreram oito eventos de SPI

da categoria úmida (um EU: 2000; três MU: 1962, 1978, 2001 e quatro MDU: 1967, 1981, 1998, 1999), a outra metade, distribuída em dois intervalos (1963 – 1973; 1985 – 1995), ocorreram igualmente oito eventos de SPI da categoria seca (um ES: 1970; um MS: 1990 e seis MDS: 1965, 1966, 1979, 1988, 1992, 2002). Os restantes 29 anos foram de eventos neutros (Tabela 4).

Tabela 4: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Inhambane do grupo 1.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente e Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	2000	1962, 1978 e 2001	1967, 1981, 1998 e 1999	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1963, 1964, 1968, 1969, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1989, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 2003 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	1970	1990	1965, 1966, 1979, 1988, 1992 e 2002

Na ID4 ocorreram na primeira metade, oito eventos de SPI da categoria úmida e na segunda ocorreram nove eventos de SPI da categoria seca (um ES: 1970; três MS: 1979, 1992, 2002 e cinco MDS: 1965, 1986, 1988, 1990, 1995). Os restantes 28 anos foram de eventos neutros (Tabela 5).

Tabela 5: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Vilanculos do grupo 1.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	2000	1962 e 2001	1967, 1978, 1981, 1998 e 1999	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1963, 1964, 1966, 1968, 1969, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987, 1989, 1991, 1993, 1994, 1996, 1997, 2003 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	1970	1979, 1992 e 2002	1965, 1986, 1988, 1990 e 1995

Vale salientar que neste grupo não se verificou a ocorrência dos harmônicos de 11 anos, e sim dos interanuais, ID1 (6,3 e 3,1 anos), ID3 (5,5 e 3,1) e ID4 (6,3; 5,5 e 3,1 anos). A representação gráfica das variações dos harmônicos e SPI das estações deste grupo são mostradas na Figura 16.

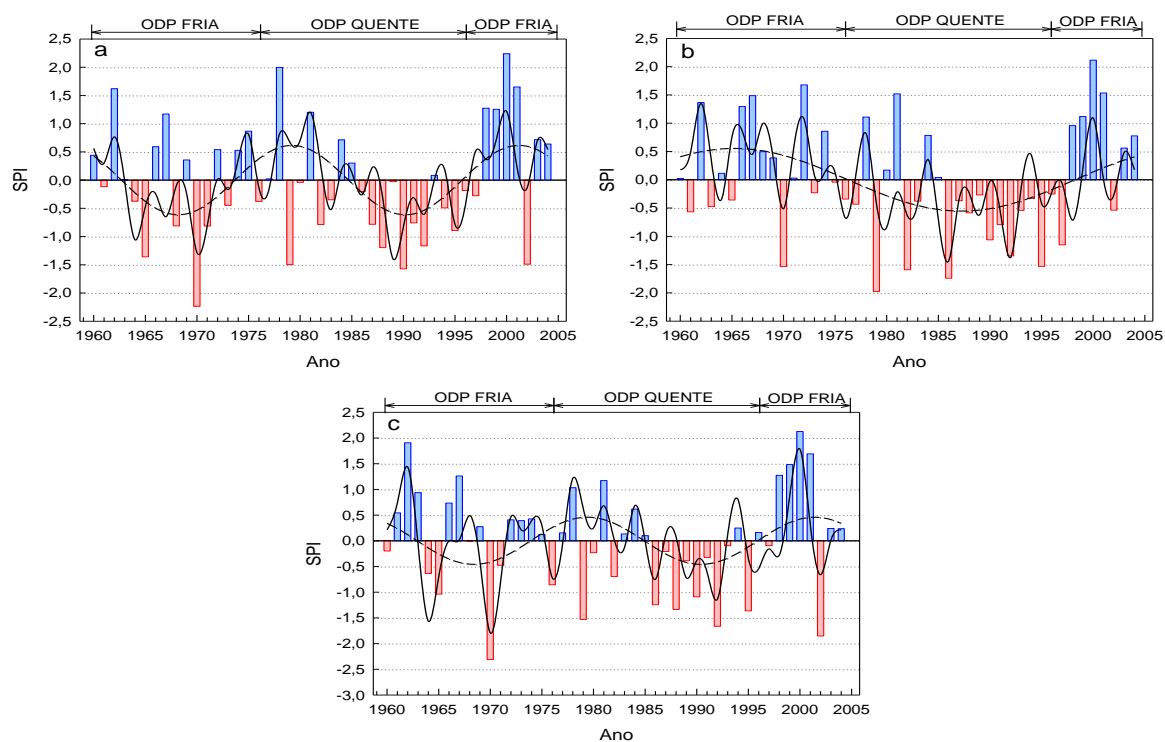


Figura 16: Avaliação dos harmônicos e do Índice de Precipitação Padronizada das estações: a) Inhambane, b) Panda e c) Vilanculos do G1 na região sul de Moçambique.

As estações do G2 apresentaram harmônicos de 22, 11 e interanuais. As estações ID5 e ID6 apresentaram igualmente harmônicos com período de 22 anos, sendo para a ID5 (três intervalos de 11 anos positivos (1960 – 1961; 1973 – 1983 e 1995 – 2004). Desses ocorreram seis eventos de SPI da categoria úmida (um EU: 2000; dois MU: 1972, 1978 e três MDU: 1976, 2001, 2003); e os outros (três) intervalos de 11 anos foram negativos (1960 – 1970; 1982 – 1992; 2004), com oito eventos de SPI da categoria seca (um ES: 1970 e sete MDS: 1968, 1979, 1980, 1983, 1991, 1992, 1995). Os restantes 31 anos foram de eventos neutros (Tabela 6).

Tabela 6: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Manjacaze do grupo 2.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	2000	1972 e 1978	1976, 2001 e 2003	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1969, 1971, 1973, 1974, 1975, 1977, 1981, 1982, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1993, 1994, 1996, 1997, 1998, 1999, 2002 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	1970	---	1968, 1979, 1980, 1983, 1991, 1992 e 1995

Na ID6 a primeira metade foi de anos positivos (1971 – 1981; 1993 – 2003), em que ocorreram oito eventos de SPI da categoria úmida (um EU: 2000; dois MU: 1974, 1978 e cinco MDU: 1965, 1972, 1973, 1976, 1985), a segunda metade foi de anos negativos em que ocorreram sete eventos de SPI da categoria seca. Os demais 30 anos foram de eventos neutros (Tabela 7). Vale salientar que tanto na ID5, assim como, na ID6 não se verificou nenhum evento Muito Seco em todos os anos das séries avaliadas.

Tabela 7: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Maniquenique do grupo 2.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	2000	1974 e 1978	1965, 1972, 1973, 1976 e 1985	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1966, 1967, 1968, 1969, 1971, 1975, 1977, 1979, 1981, 1984, 1986, 1987, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	1970 e 1983	---	1980, 1982, 1988, 1992 e 2002

A ID9 apresentou um harmônico de 11 anos, cujos intervalos foram de cinco anos positivos cada e observados entre 1963 – 1967; 1974 – 1978; 1985 – 1989 e 1996 – 2000. Nesses anos ocorreram oito eventos de SPI da categoria úmida (um EU: 2000; um MU: 1984 e seis MDU: 1966, 1969, 1975, 1977, 1981, 1999). Os demais intervalos da série foram de seis anos negativos cada (1960 – 1962; 1968 – 1973; 1979 – 1984; 1990 – 1995; 2001 – 2004), nesses ocorreram sete eventos de SPI da categoria seca. Os restantes 30 anos foram observados eventos neutros (Tabela 8).

Tabela 8: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Maputo Observatório do grupo 2.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	2000	1984	1966, 1969, 1975, 1977, 1981 e 1999	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1967, 1968, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1978, 1979, 1980, 1983, 1985, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1998, 2001 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	2003	1970	1965, 1982, 1986, 1994 e 2002

Em todas as estações do G2 ocorreram harmônicos interanuais, ID5 (3,7 e 3,1 anos), ID6 (5,5 e 3,1 anos) e ID9 (5,5; 4 e 2,9 anos). A representação gráfica das variações dos harmônicos e SPI das estações de G2 encontram-se representadas na Figura 17.

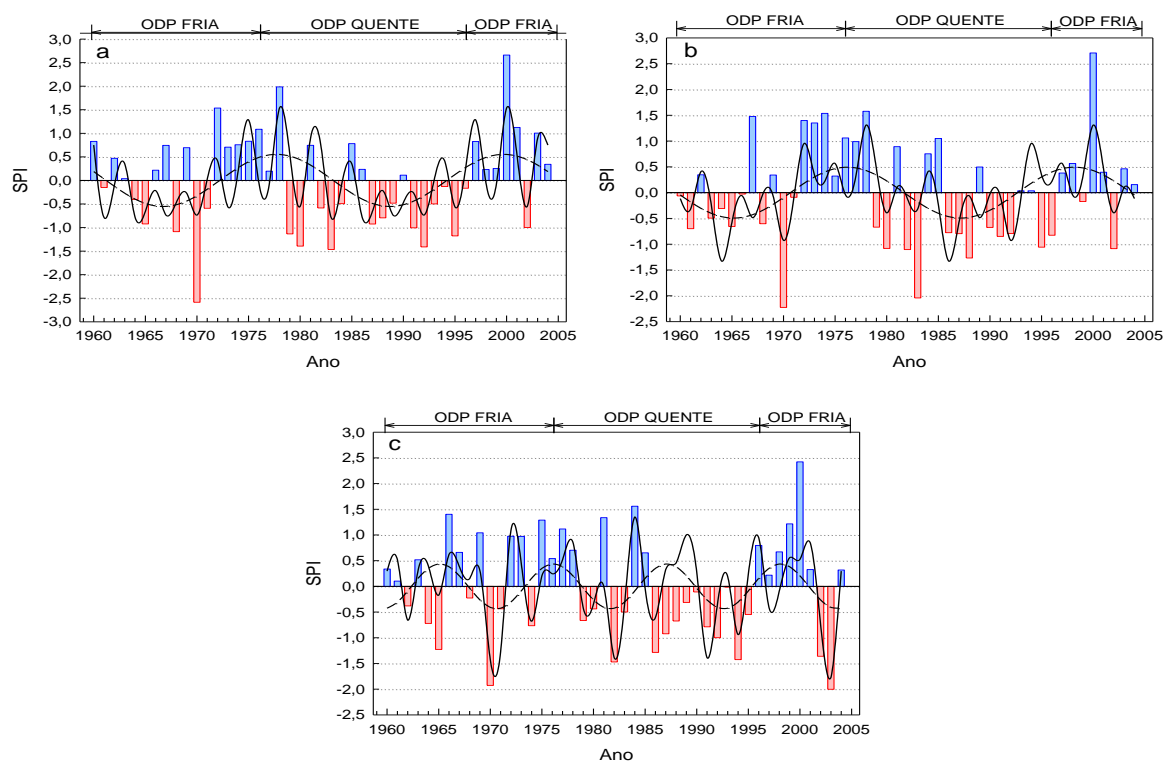


Figura 17: Avaliação dos harmônicos e do Índice de Precipitação Padronizada das estações: a) Manjacaze, b) Maniquenique e c) Mapoto Observatório do G2 na região sul de Moçambique.

As estações do G3 apresentaram harmônicos de 11 anos e interanual. As estações ID10 e ID11 apresentaram igualmente harmônicos com período de 11 anos, sendo para a ID10 separados em quatro intervalos de seis anos positivos cada (1963 – 1968; 1974 – 1979; 1985 – 1990; 1996 – 2001), em que ocorreram sete eventos de SPI da categoria úmida, os outros cinco intervalos foram de cinco anos cada de SPI da categoria seca (1960 – 1962; 1969 – 1973; 1980 – 1984; 1991 – 1995; 2002 – 2004), onde igualmente ocorreram sete eventos de SPI da categoria seca. Os restantes 31 anos foram de eventos neutros (Tabela 9).

Tabela 9: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Chagalane do grupo 3.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	2000	1984	1966, 1972, 1978, 1997 e 1999	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1962, 1963, 1967, 1968, 1969, 1971, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1980, 1981, 1982, 1983, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2001 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	2003	1970, 1992 e 2002	1964, 1965 e 1979

Na ID11 os intervalos (quatro) foram de cinco anos positivos cada (1963 – 1967; 1974 – 1978; 1985 – 1989; 1996 – 2000), nesses ocorreram seis eventos de SPI da categoria úmida (três MU: 1975, 1984, 2000 e três MDU: 1966, 1977, 1981); e os outros intervalos (cinco) foram de seis anos negativos (1960 – 1962; 1968 – 1973; 1979 – 1984; 1990 – 1995; 2001 – 2004), em que ocorreram cinco eventos de SPI da categoria seca (dois ES: 2002, 2003; dois MS: 1970, 1992 e um MDS: 1965). Os restantes 34 anos foram observados eventos neutros. Na estação ID11 não se verificou nenhum evento Extremamente Úmido, em contrapartida, verificaram-se dois eventos Extremamente Secos (Tabela 10).

Tabela 10: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Umbeluzi do grupo 3.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	---	1975, 1984 e 2000	1966, 1977 e 1981	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1967, 1968, 1969, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	2002 e 2003	1970 e 1992	1965

As duas estações do G3 apresentaram harmônicos interanuais, ID10 e ID11 (5,5; 4 e 2,9 anos). Os gráficos das variações dos componentes harmônicos e SPI das estações do G3 estão representados na Figura 18.

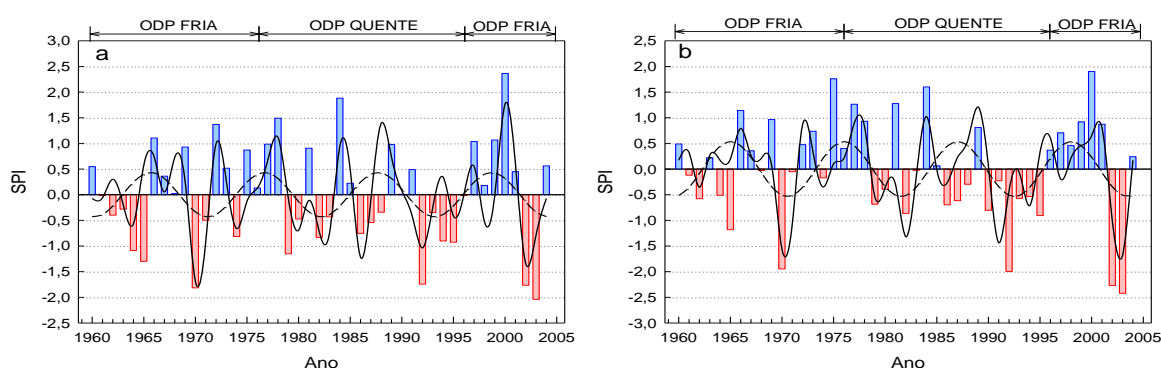


Figura 18: Avaliação dos harmônicos e do Índice de Precipitação Padronizada das estações: a) Changalane e b) Umbeluzi do grupo G3 na região sul de Moçambique.

As estações do ND_g apresentaram harmônicos de 44 e 22 anos e nas escalas interanuais. A ID2 apresentou um harmônico com período de 44 anos, cujos intervalos (dois) apresentaram 22 anos positivos (1960 – 1973; 1996 – 2004), em que ocorreram sete eventos de SPI da categoria úmida (dois EU: 1978, 2000; um MU: 1962 e quatro MDU: 1967, 1972,

1999, 2001); e na outra metade (um intervalo) foram anos negativos (1974 – 1995), dos quais ocorreram seis eventos de SPI da categoria seca (um ES: 1982; três MS: 1970, 1990, 1992 e dois MDS: 1986, 1995). Os restantes 32 anos foram de eventos neutros. Ainda a ID2, apresentou outro harmônico de 22 anos, cujos intervalos (três) positivos e (dois) negativos foram ambos de 11 anos (os positivos 1960 – 1961; 1973 – 1983; 1995 – 2004 e os negativos 1962 – 1972; 1984 – 1994). Desses ocorreram os mesmos eventos observados no harmônico de 44 anos (Tabela 11).

Tabela 11: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Inharrime do NDg.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	1978 e 2000	1962	1967, 1972, 1999 e 2001	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1963, 1964, 1965, 1966, 1968, 1969, 1971, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1989, 1991, 1993, 1994, 1996, 1997, 1998, 2002 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	1982	1970, 1990 e 1992	1986 e 1995

As estações ID7 e ID8 apresentaram igualmente harmônicos de 22 anos, com intervalos de anos positivos e negativos também iguais, dos quais foram 11 positivos para ID7 (1960; 1972 – 1982; 1994 – 2004), em que ocorreram sete eventos de SPI da categoria úmida, os outros foram anos negativos (1961- 1971; 1983 – 1993), desses ocorreram seis eventos de SPI da categoria seca (um ES: 1970; um MS: 1982 e quatro MDS: 1968, 1983, 1988, 1991). Os restantes 32 anos foram observados eventos neutros (Tabela 12).

Tabela 12: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Xai-xai do NDg.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente e Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente e Seco
POSITIVO	2000	1967 e 1978	1972, 1974, 1977 e 1981	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1969, 1971, 1973, 1975, 1976, 1979, 1980, 1984, 1985, 1986, 1987, 1989, 1990, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002, 2003 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	1970	1982	1968, 1983, 1988 e 1991

Na ID8 os intervalos (dois) de anos positivos foram 1971 – 1981 e 1995 – 2003, dos quais ocorreram sete eventos de SPI da categoria úmida (dois EU: 1978, 2000; um MU: 1973 e quatro MDU: 1967, 1972, 1976, 1981); e os outros intervalos (três) foram de anos negativos, desses ocorreram oito eventos de SPI da categoria seca. Os restantes 30 anos foram observados eventos neutros. Na estação ID8 não se verificou a ocorrência de nenhum evento Extremamente Seco e, em contrapartida ocorreram dois eventos Extremamente Úmidos, contrário ao observado na ID11 do G3 (Tabela 13).

Tabela 13: Avaliação do SPI nas principais categorias em anos de ocorrência, na estação de Vila Macia do NDg.

SPI	CATEGORIAS DE EVENTOS ÚMIDOS			CATEGORIAS DE EVENTOS SECOS		
	Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Extremamente Seco	Muito Seco	Moderadamente Seco
POSITIVO	1978 e 2000	1973	1967, 1972, 1976 e 1981	---	---	---
NEUTRO	1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1966, 1968, 1969, 1971, 1974, 1975, 1977, 1979, 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003 e 2004					
NEGATIVO	---	---	---	---	1980, 1982, 1983 e 2002	1965, 1970, 1987 e 1992

As estações ID7 e ID8 apresentaram igualmente harmônicos interanuais em ID7 (5,5 e 3,1 anos) e ID8 (5,5 e 3,7 anos). As Figuras 31, 32 e 33 mostram as variações dos harmônicos e SPI das estações do ND_g.

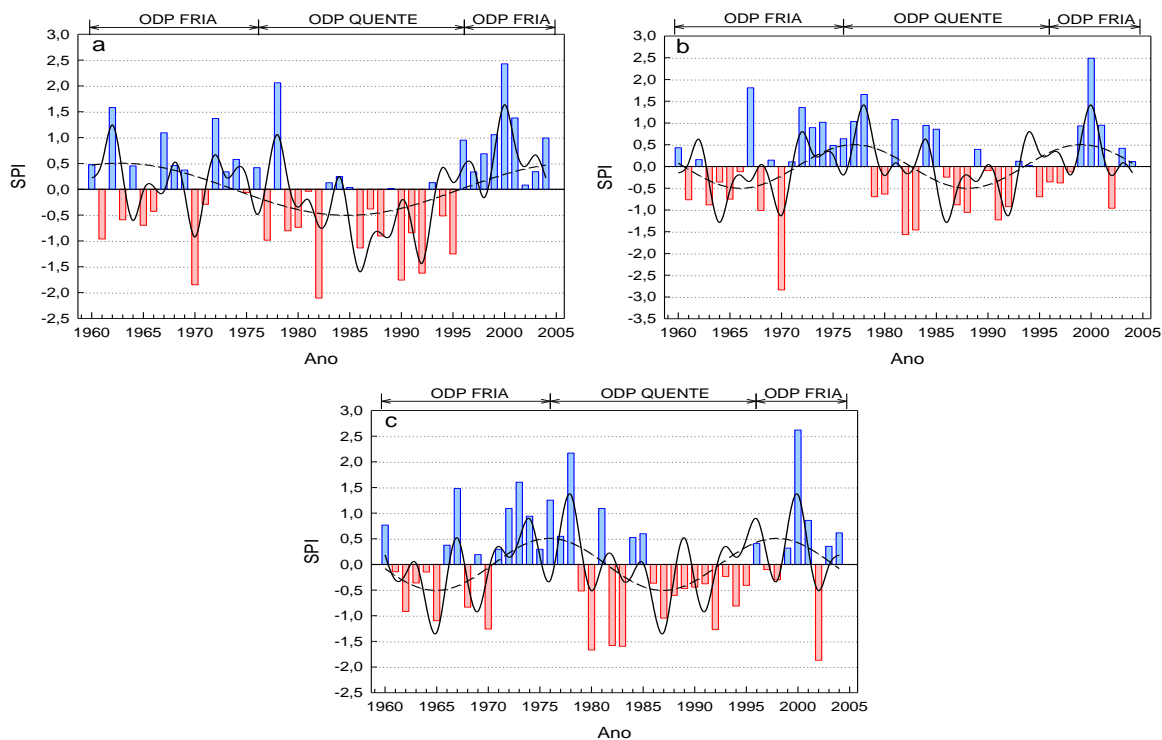


Figura 19: Avaliação dos harmônicos e do Índice de Precipitação Padronizada das estações: a) Inharrime, b) Xai-xai e c) Vila Macia do NDg na região sul de Moçambique.

Eventos úmidos/positivos (secos/negativos) de SPI registrados por grupo foram os seguintes: (G1 – SPI da categoria úmida: 25 e SPI da categoria seca: 25); (G2 – SPI da categoria úmida: 22 e SPI da categoria seca: 23); (G3 – SPI da categoria úmida: 13 e SPI da categoria seca: 12) e (ND_g – SPI da categoria úmida: 21 e SPI da categoria seca: 20). O G1 apresentou o mesmo número e maiores valores de eventos de SPI úmidos/positivos (secos/negativos).

Os eventos Extremamente Úmidos (EU) ocorreram no ano (2000) em todas as estações dos quatro grupos, com a exceção da ID11 (G3), onde não ocorreu evento dessa magnitude. Ocorreram simultaneamente eventos duplos EU, nos anos (1978 e 2000) nas estações ID2, ID8 e ND_g. Os restantes eventos Muito Úmidos (MU), Moderadamente Úmidos (MDU) e Neutros (NE), ocorreram em todas as estações.

Os eventos Extremamente Secos (ES) ocorreram no ano 1970 nas estações ID1, ID4 (G1); ID5, ID6 (G2) e ID7 (ND_g); em 1982 na ID2 (ND_g); em 1983 na ID6 (G2); em 2003 nas ID9 (G2) e ID10, ID11 (G3), com a exceção da ID3 (G1) e ID8 (ND_g) onde não ocorreu este evento. Eventos duplos ES ocorreram nas estações ID6 (G2) nos anos 1970 e 1983 e ID11 (G3) nos anos 2002 e 2003. Os restantes eventos Muito Secos (MS), Moderadamente Secos (MDS) e Neutros (NE), ocorreram em todas as estações com as exceções da ID5 e ID6 (G2), onde não ocorreu nenhum evento MS.

1.4.4 Identificação dos modos de variabilidade climática

Nesta fase do estudo foram comparados os anos de eventos de SPI seco/negativo (úmido/positivo) nas categorias (seca, neutra e úmida), aos anos que ocorreram eventos da ODP (negativa/fria e positiva/quente), DOI (negativo, neutro e positivo) e ENOS (frio/ La Niña e quente/El Niño).

Na série estudada (1960 a 2004), a OPD fria compreendeu dois períodos (1ª fase de 1960 – 1977; 2ª fase de 1997 – 2004) e a ODP quente compreendeu um período com apenas uma fase (1977 – 1997). Relativamente ao DOI, durante os anos da série estudada, ocorreram 10 eventos de DOI negativo (positivo), entre os quais quatro foram classificados, como fortes e os restantes seis entre moderados e neutros para ambos os eventos, conforme o estudo realizado por Mayers *et al.*, (2007).

Foram observados 32 eventos de ENOS, desses 18 foram classificados como de El Niño e 14 de La Niña. Dos eventos de El Niño três foram classificados como fortes cinco moderados e dez fracos. Os da La Niña, três foram fortes, três moderados e oito fracos.

1.4.5 Relação da ODP e os harmônicos

Os anos com sinal negativo do SPI para o harmônico de 44 anos coincidiram com a ODP na sua fase quente (1977 – 1997), a ID3 se diferiu em um ano a mais, em que este faz parte da 2ª fase da ODP fria. A fase negativa do harmônico da ID2 (1974 – 1995), abrangiu os últimos quatro anos da ODP na sua 1ª fase fria e quase toda extensão da ODP na sua fase quente, que se diferiu com esta em dois anos 1996 e 1997. As fases positivas do 1º harmônico, da ID3 (G1) e ID2 (ND_g) coincidiram com toda extensão da ODP na sua fase fria (1960 – 1977), onde a ID2 compreendeu o período de (1960 – 1973). Esses resultados indicam que a ODP está relacionada ao harmônico de 44 anos, coincidindo seus sinais.

A maior parte das estações apresentou suas 1ª fases negativas dos 22 anos a coincidirem com a ODP na sua 1ª fase fria, ID1 e ID4 (G1); ID5 e ID6 (G2); ID2, ID7 e ID8 (ND_g) e as 2ª fases em todas as estações coincidiram com a ODP na sua fase quente, com a exceção da ID9 (G2), ID10 e ID11 (G3), enquanto as 1ª fases positivas dos 22 anos na maioria das estações, coincidiram com os últimos quatro a cinco anos da ODP na sua 1ª fase fria, e os primeiros cinco a oito anos da ODP na sua fase quente.

Para o harmônico de 11 anos obsevou-se a exceção da ID9 (G2), ID10 e ID11 (G3), em que a 1ª e 2ª fases negativas de seus harmônicos, coincidiram com quase toda extensão da ODP fria na sua 1ª fase, enquanto a 2ª e 3ª fases dos harmônicos coincidiram com a ODP na sua fase quente. A 1ª e 2ª fases positivas dos harmônicos compreenderam um período entre (1963 – 1969 1ª fase) e as 2ª entre os últimos quatro anos da ODP fria na 1ª fase e os primeiros quatro anos da ODP na fase quente; as 3ª fases coincidiram igualmente na extensão da ODP quente, enquanto que as 4ª fases compreenderam os dois últimos anos da ODP na sua fase quente e os primeiros quatro anos da ODP na sua 2ª fase fria.

1.4.6 Relação ODP, DOI, ENOS e SPI

Durante as duas fases da ODP fria, ocorreu menor número de eventos do DOI positivo, maior número do DOI neutro (1ª fase), com apenas dois eventos do DOI negativo na sua 2ª fase. Durante a 2ª fase da ODP fria até ao último ano da série estudada, maior parte dos anos foram do DOI neutro, com a exceção de 1999 e 2000 que foram do DOI negativo, enquanto o ano de 2004 foi do DOI positivo de acordo com os estudos realizados por Mayers *et al.* (2007) e Cashen (2011). Os eventos do DOI negativo observados no decurso da 1ª fase da ODP fria, na sua maioria neutros, estiveram relacionados com maior número de anos de La Niña e também com menor número de eventos de SPI negativo, o que implicou em menor número de anos secos e maior de anos úmidos.

Quanto a ODP quente, ao longo do seu decurso ocorreu maior número de eventos do DOI negativo e neutro, menor eventos do DOI positivo. Desses eventos do DOI negativo apenas um esteve relacionado com ENOS frio (La Niña), enquanto a maior parte esteve relacionada com maior número de anos de ENOS neutro. Em contrapartida, os eventos do DOI neutro estiveram relacionados com maior número de ENOS quente (El Niño), assim como maior número de eventos de SPI neutros e consequentemente, maior número de anos secos e menor de anos úmidos (Tabelas 14, 15, 16 e 17).

Tabela 14: Relação dos modos de variabilidade climática e anos de sua ocorrência nas estações do grupo 1.

	ODP FRIA				ODP QUENTE		
	ENOS	SPI Seco	SPI Neutro	SPI Úmido	SPI Seco	SPI Neutro	SPI Úmido
DOI POSITIVO	El Niño	---	1977	1963, 1972	1982	1983, 1991, 1994, 1997	---
	Neutro	---	1961	1967	---	---	---
	La Niña	---	---	---	---	---	---
DOI NEUTRO	El Niño	1965, 2002	1969, 1976, 2003, 2004	1998	1986	---	---
	Neutro	1966	---	2001	1979, 1990	1987, 1993	1978
	La Niña	1970	1964, 1971, 1973	1962, 1999, 2000	1988, 1995	1984	---
DOI NEGATIVO	El Niño	---	---	---	1992	---	---
	Neutro	---	1960	---	---	1980, 1985, 1996	1981
	La Niña	---	1968, 1974, 1975	---	---	1989	---

Tabela 15: Relação dos modos de variabilidade climática e anos de sua ocorrência nas estações do grupo 2.

	ODP FRIA				ODP QUENTE		
	ENOS	SPI Seco	SPI Neutro	SPI Úmido	SPI Seco	SPI Neutro	SPI Úmido
DOI POSITIVO	El Niño	---	1963	1972, 1977	1982, 1983, 1991, 1994	1997	---
	Neutro	---	1961	1967	---	---	---
	La Niña	---	---	---	---	---	---
DOI NEUTRO	El Niño	1965, 2002	1998, 2004	1969, 1976, 2003	---	---	1986
	Neutro	---	---	1966, 2001	1979	1987, 1990, 1993	1978
	La Niña	1970	1962, 1964, 1971	1973, 1999, 2000	1988, 1995	---	1984
DOI NEGATIVO	El Niño	---	---	---	1992	---	---
	Neutro	---	1960	---	1980	1996	1981, 1985
	La Niña	1968	---	1974, 1975	---	1989	---

Tabela 16: Relação dos modos de variabilidade climática e anos de sua ocorrência nas estações do grupo 3.

	ODP FRIA			ODP QUENTE			
	ENOS	SPI Seco	SPI Neutro	SPI Úmido	SPI Seco	SPI Neutro	SPI Úmido
DOI POSITIVO	El Niño	---	1963	1972, 1977	---	1982,1983, 1991, 1994	1997
	Neutro	---	1961, 1967	---	---	---	---
	La Niña	---	---	---	---	---	---
DOI NEUTRO	El Niño	1965, 2002, 2003	1969, 1976, 1998, 2004	---	---	1986	---
	Neutro	---	2001	1966	1979	1987, 1990, 1993	1978
	La Niña	1964, 1970	1962, 1971, 1973	1999, 2000	---	1988, 1995	1984
DOI NEGATIVO	El Niño	---	---	---	1992	---	---
	Neutro	---	1960	---	---	1980, 1985, 1996	1981
	La Niña	---	1968, 1974,	1975	---	1989	---

Tabela 17: Relação dos modos de variabilidade climática e anos de sua ocorrência nas estações do grupo NDg

	ODP FRIA			ODP QUENTE			
	ENOS	SPI Seco	SPI Neutro	SPI Úmido	SPI Seco	SPI Neutro	SPI Úmido
DOI POSITIVO	El Niño	---	1963	1972, 1977	1982,1983, 1991	1994, 1997	---
	Neutro	---	1961	1967	---	---	---
	La Niña	---	---	---	---	---	---
DOI NEUTRO	El Niño	1965, 2002	1969, 1998, 2003, 2004	1976	1986	---	---
	Neutro	---	1966	2001	1979, 1990	1979, 1993	1978
	La Niña	1970	1964, 1971	1962, 1973, 1999, 2000	1988, 1995	1984	---
DOI NEGATIVO	El Niño	---	---	---	1992	---	---
	Neutro	---	1960	---	1980	1981, 1985, 1996	---
	La Niña	1968	1974	1975	---	1989	---

1.4.7 Anos de eventos da ODP, DOI, ENOS e SPI

A ODP - fria ocorreu maior frequência associada ao DOI positivo. DOI positivo e ENOS quente com SPI neutro/úmido ocorreram nos anos de 1963, 1972, 1977; DOI positivo e ENOS neutro com SPI neutro/úmido ocorreram nos anos de 1961 e 1967.

Os eventos ODP fria, DOI neutro e ENOS quente com SPI neutro/úmido, ocorreram nos anos de 1969, 1976, 1998, 2003 e 2004, com exceção apenas de 1965 e 2002, nos quais ocorreram com SPI seco; DOI neutro e ENOS neutro com SPI neutro/úmido ocorreram nos anos de (1966 e 2001) e DOI neutro e ENOS frio com SPI neutro/úmido, ocorreram nos anos de 1962, 1964, 1971 e 1973, com exceção de 1970, em que ocorreu com o SPI seco.

Eventos da ODP fria, DOI negativo e ENOS frio com SPI neutro/úmido ocorreram nos anos de 1968, 1974, 1975, 1999 e 2000; DOI neutro e ENOS neutro com SPI neutro ocorreram apenas no ano de 1960. Não ocorreu nenhum evento da ODP fria, DOI negativo com ENOS frio.

A ODP quente ocorreu majoritariamente com DOI negativo, SPI neutro/úmido na maior parte das estações nos anos de 1980, 1981, 1985, 1989 e 1996. A ODP quente, DOI negativo, ENOS frio e SPI neutro, ocorreram apenas no ano de 1989. O evento DOI negativo raramente ocorre com ENOS quente, mas no presente estudo observou-se uma exceção (1992), em que o El Niño (moderado), iniciou no período seco do ano anterior (1991) e terminou no mesmo período do ano seguinte (1992), em que este último fazia parte do DOI negativo. Vale salientar que poucos foram os eventos da ODP quente, DOI negativo, ENOS frio com SPI neutro/úmido.

Desta relação entre a ODP, DOI, ENOS e SPI, observou-se que durante as fases frias da ODP ocorreram muitos eventos positivos e neutros do DOI e de ENOS frio (La Niña), que resultaram em maior número de anos úmidos ($SPI > 0$) na maior parte das estações, enquanto que durante a fase quente da ODP, ocorreram muitos eventos negativos e neutros de DOI, ENOS quente (El Niño) que resultaram em maior número de anos secos ($SPI < 0$), com a exceção do G3, que apresentou maior número de eventos de SPI neutro.

A análise harmônica realizada para a identificação dos MVC relacionou os harmônicos de 44 e 22 anos, à ODP, levando em conta que a periodicidade da ODP é interdecadal que varia de (30 - 50 anos). O harmônico de 11 anos foi relacionado com o DOI, considerando sua periodicidade que é entre 5 a 7,5 anos, ou seja, uma média de quatro eventos de DOI positivo (negativo) durante um período de 30 anos (ABRAM *et al.*, 2007; MAYERS *et al.*, 2007; YAMAGATA, 2003). Finalmente o período interanual de 2,9 a 6,3 anos foi relacionado com o ENOS, que tem intervalos que variam de (18 - 36 meses).

1.5 CONCLUSÕES

Da análise de agrupamento identificam-se estatisticamente três grupos de estações, denominados G1, G2 e G3, com características homogêneas da chuva. Três estações do G1 na província de Inhambane; Três estações do G2, sendo duas localizadas na província de Gaza e uma na província de Maputo; Duas estações do G3 todas localizadas na província de Maputo. Outras três estações apresentam características diferentes em termos de homogeneidade sazonal com as restantes e integram o ND_g, uma localizada na província de Inhambane e duas na província de Gaza, todas próximas ao ambiente litorâneo.

- O G1 e G2 contribuem com valores próximos dos acumulados mensais e médias anuais, cujos períodos chuvosos são de seis a sete meses (novembro a abril, G1 e outubro a abril, G2), com os máximos em (DJF, G1 e JF, G2). O período seco é de sete a oito meses compreendido entre abril a outubro ou novembro no G1 e para G2 de seis meses, entre abril a outubro, respectivamente.
- O G3 contribui com menores valores acumulados mensais durante o período chuvoso e das médias anuais, em relação aos demais grupos (ND_g, G1 e G2, respectivamente). Seu período chuvoso é de cinco meses compreendidos entre novembro a março, com os máximos nos meses de dezembro e janeiro. O período seco é de sete meses de abril até outubro.
- O ND_g contribui com os maiores valores dos acumulados mensais do período chuvoso e as médias anuais. O período chuvoso é de nove meses compreendidos entre outubro a junho, em que os máximos são atingidos nos meses de (JFM), enquanto o período seco varia de três a seis meses (JAS e MJJASO), respectivamente.
- O litoral da RSM é afetado com maior frequência por CT, FFS, sistema de mesoescala, como por exemplo, circulação de brisas marítimas, terrestres e lacustres (Inhambane) e o interior de Maputo é influenciado pelo fator altitude. No entanto, ainda nesta região prevalece a influência do efeito da continentalidade no interior de Gaza e Inhambane, cuja variação ocorre na

altura em que as massas de ar úmido marítimo vão perdendo a umidade à medida que se movimentam para o interior.

- Os maiores valores e longos períodos de precipitação nas estações de ND_g, para além destas estarem inseridas no litoral, provavelmente são decorrentes da contribuição da bacia do rio Limpopo, concretamente na extensão do Baixo Limpopo entre o distrito de Chokwè e Xai-xai, assim como a presença das FFS que atingem esta região durante o inverno, e que condicionam a segunda época agrícola nesta região litorânea da RSM.
- A ZCIT é um sistema meteorológico de maior relevância, que contribui para a variabilidade temporal e espacial da precipitação na RSM. Esta variabilidade da precipitação decorrente do deslocamento da ZCIT é explicada com base no trajeto durante os seus movimentos migratórios N-S e S-N. Seu efeito ocorre, embora não com maior intensidade, na região compreendida entre o rio Save e o Trópico de Capricórnio (concretamente no norte de Inhambane e Gaza), onde contribui geralmente, para o início tardio da época chuvosa, entre os meses de novembro e dezembro.
- O interior de Inhambane e Gaza são fortemente influenciados por ACSTP, uma atuação forte deste sistema meteorológico afeta, por vezes, a atividade da ZCIT que é frequente durante o verão. Obviamente o deslocamento da ZCIT, favorece a maior extensão do período chuvoso no centro e norte de Moçambique (aproximadamente oito a nove meses), enquanto na RSM favorece menor extensão do período chuvoso (aproximadamente quatro a seis meses).
- Quanto à periodicidade dos modos da variabilidade climática identifica-se a seguinte: i) OPD fria que compreende dois períodos (1ª fase de 1960 – 1977; 2ª fase de 1997 – 2004) e ODP quente que compreende apenas uma fase (1977 – 1997); ii) ao longo da ODP fria ocorre maior número de eventos positivos e neutros do DOI; iii) durante a ODP quente, ocorre maior número de eventos do DOI negativo e neutro. A ODP fria ocorre na maior frequência com o DOI

positivo e ENOS quente (El Niño), enquanto a ODP quente ocorre na maior frequência com o DOI negativo e ENOS frio (La Niña).

- Da relação entre ODP e SPI, observa-se que durante as fases frias da ODP, ocorre maior número de SPI (anomalia positiva), que resulta em maior número de anos úmidos, enquanto que durante a fase quente da ODP, ocorre maior número de SPI (anomalia negativa) que resulta em maior número de anos secos na RSM.
- O DOI positivo observa-se com ENOS quente (El Niño) o que justifica o maior número de eventos da anomalia negativa de SPI, ou seja, maior número de anos de seca. Em contrapartida, o DOI negativo observa-se com ENOS frio (La Niña), o que justifica o maior número de eventos da anomalia positiva de SPI, ou seja, maior número de anos úmidos.
- O evento DOI negativo raramente ocorre com ENOS quente, mas neste estudo observa-se uma exceção de 1992, em que o El Niño (intensidade moderada), inicia no período seco de (AMJ - 1991) e termina em (JJA – 1992) (intensidade fraca), em que este ano faz parte do DOI negativo.
- O ENOS frio é decorrente da combinação do DOI negativo e a fase quente da ODP, enquanto que o ENOS quente é decorrente da combinação do DOI positivo e a fase fria da ODP.

1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAM, N. J. "**Seasonal characteristics of the Indian Ocean dipole during the Holocene epoch**". Nature 445 (7125): pp. 299–302. Bibcode: 2007 Natur.445.299A, 2007.
- ÁFRICA SUBSAARIANA. In: JournalSeek. Disponível em: <<http://www.luventicus.org/mapaspt/africa/africasubsaariana.html>>; acesso em 10/08/2013.
- AGUIAR, A. A. **Provável Retorno do El Niño**. Boletim Extra - Metsul Climatologia Urbana, 2006. Disponível em: http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=37&cod_texto=266. Acesso em: 23/07/2011.
- ALBUFEIRA. In: **iDicionário Aulete**. Disponível em: <<http://aulete.uol.com.br/ALBUFEIRA#ixzz2IKwcMDTR>>; acesso em 12/06/2012.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO: **Divisão político-administrativa, rios, orografia e países limítrofes** – Instituto Nacional de Estatística (INE), pp. 8-9, Maputo, Moçambique, 2006.
- ALLABY, A. and ALLABY, M. **Dictionary of Earth Sciences**, 2nd Edition, Oxford University Press, Landon, 1999.
- ALTANGEREL, T. and HENAO, F. **Agricultura Sustentável: Uma Forma de Escapar da Pobreza Alimentar** - International Policy Centre for Inclusive Growth (CIP-CI) - Universidade de Nova York, one pager no. 104, 2010.
- BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H. **Saison Sèche et indice xérothermique**: Bulletin Société d'Histoire Naturelle de Toulouse 88, 1953.
- BROMILOW, R. H. **Paraquat and sustainable agriculture**: Biological Chemistry Division - Rothamsted Research, Harpenden, Herts, AL5 2JQ, UK, 2003. Disponível em: <<http://paraquat.com/sites/default/files/images/5.2.2%20Download.pdf>>. Acesso em: 10/01/2012.
- BURKE, M. B., LOBELL, D. B. and GUARINO, L. **Shifts in African Crop Climates by 2050, and the Implications for Crop Improvement and Genetic Resources Conservation**: Global Environmental Change, vol. 19, no. 3, 2009.
- CASHEN, M. **Drivers of Climate Variability in the Murray Darling Basin**: Climate Smart Agriculture, first edition, <www.dpi.gov.au/publications> for updates, 2011.
- CENTRO DE ESTUDOS MOÇAMBICANOS E INTERNACIONAIS (CEMO), Coordenador: António Álvaro Francisco, Colaboradores: Hortêncio Sunde Manuel Lopes e Nelson Magalhães: **O Impacto da Política Agrária em Moçambique**, Organização de Ajuda Mútua – ORAM e Rede das Organizações para a Segurança Alimentar – ROSA, Maputo, 2010.

CENTRO TÉCNICO DE COOPERAÇÃO AGRÍCOLA E RURAL (ACP-UE) - CTA. **Como controlar a Striga e a broca do caule na cultura do milho**, Coleção Guias práticos do CTA, Nº 2, CTA Postbus 380, 6700 AJ Wageningen, Países Baixos, 2008. Disponível em: <http://www.anancy.net/documents/file_pt/Portuguese_Leaf-02.pdf>. Acesso em: 10/01/2012.

CUMBA, R. **Estratégias de Sementeira do Milho na Agricultura de Sequeiro em Moçambique**: Tese de Licenciatura em Engenharia Agronômica, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal- Universidade Eduardo Mondlane (UEM); Maputo, 2001.

CUMBE, A. N. F. **O Património Geológico de Moçambique: Proposta de Metodologia de Inventariação, Caracterização e Avaliação**; Tese de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação, Escola de Ciências, Departamento de Ciências da Terra - Universidade do Minho, Braga, 2007.

FALKENMARK, M., ROCKSTRÖM, J. **Rain: The Neglected Resource**. Swedish Water House Policy Brief Nr. 2. SIWI, 2005. Disponível em: <http://www.unwater.org/downloads/PB2_Rain_the_neglected_resource_2005.pdf>; Acesso em: 20/03/2012.

FARIA, J. M. **Condições Climáticas em Moçambique**, Serviço Meteorológico de Moçambique. p. 68, Lourenço Marques, 1965.

FERREIRA, A. **Condições Climáticas da África Meridional**, Serviço Meteorológico de Moçambique, p. 39, Lourenço Marques, 1965.

FORTE, S. H. A. C. **Manual de elaboração de Tese, Dissertação e Monografia**: FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ - Universidade de Fortaleza, 5ª. Edição, Fortaleza – Ceará- Brasil, 2006.

GIMENES, F. M. P.; GIMENES, R. M. T. e OPAZO, M. A. U. **Reflexões Sobre uma Proposta de Integração Assimétrica, ALCA – Mercosul pela Análise de Cluster**: Revista de Ciências Empresariais da UNIPAR, vol. 3 nº 2, pp. 4-5, UMUARAMA – PARANÁ, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DE MOÇAMBIQUE (INAM), **Produtos e Serviços**: MESSIR-NET, 2007. Disponível em: <<http://www.inam.gov.mz/>, <http://meteo.inam.gov.mz/>>, Acesso em 20/05/2011.

INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES (INGC), Climate Change Report: **Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique**. Synthesis report. INGC, 2009. Disponível em: <<http://www.undp.org.mz/en/What-we-do/Crisis-and-Environment/Publications/INGC-Climate-Change-Report-Study-on-the-Impact-of-Climate-Change-on-Disaster-Risk-in-Mozambique.-Synthesis-report.-INGC-2009>>. Acesso em: 19/10/2011.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE MOÇAMBIQUE (INE). **Censo Agro-Pecuário 1999-2000: Resultados Definitivos – Moçambique**, Instituto Nacional de

- Estatística em parceria com o Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural, 3 p. 3, 2002.
- INDE - INSTITUTO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO: **Atlas de Moçambique**, 1ª edição, pp. 15-46, Maputo, Moçambique, 2009.
- INGC, UEM – Dept. of Geography and FEWSNET MIND. **Atlas for Disaster Preparedness and Response in the Limpopo Basin**: Creda Communications Ltd, Cape Town, South Africa, 2003.
- KITE, G.W. **Frequency and Risk Analyses in Hydrology**: Water Resources Publications, Fort Collins, 1977.
- LOIOLA, S. A. **Adaptação aos cenários imponderáveis da variabilidade climática**. Resultados de pesquisa de Doutorado, Instituto de Estudo Socioambientais - IESA, Universidade Federal de Goiás – UFG, pp. 10-11, Goiás – Brasil, 2012.
- LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. De S.; SEDIYAMA, G. C. e SENTELHAS, P. C. **Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira**, *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.2, pp. 205-215, Venezuela, 2006.
- McKEE T.B.N.; DOESKEN, J.; KLEIST, J. **The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales**. In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Anaheim, California, USA). American Meteorology Society, pp. 179–184, 1993.
- MEYERS, G.; McINTOSH, P.; PIGOT, L. and POOK, M. **The Years of El Niño, La Niña, and Interactions with the Tropical Indian Ocean**, *Journal of Climate*, American Meteorological Society, vol. 20, DOI: 10.1175/JCLI4152.1, Tasmania – Australia, 2007.
- MUCHANGOS, A. **Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais**, edição do autor, pp. 1-42. República de Moçambique – Maputo, 1999.
- MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J. M. and FRANCI, R. C. **A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production**. v. 78, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, pp. 1069–1079. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1175/15200477\(1997\)078%3C1069:APICOW%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/15200477(1997)078%3C1069:APICOW%3E2.0.CO;2); acesso em 25/09/2013.
- MAPA DE MOÇAMBIQUE. In: **Guia Geográfico – África**. Disponível em: <http://www.africa-turismo.com/mapas/mocambique.htm>; acesso em 03/04/2011.
- NAKAMURA, N.; KAYANNE, H.; IJIMA, H.; McCLANAHAN, T. R.; BEHERA, S. K. and YAMAGATA, T. **Mode shift in the Indian Ocean climate under global warming stress**: *Geophysical Research Letters*, 36, L23708, doi:10.1029/2009GL040590, 2009. Disponível em: <http://www.s.u-tokyo.ac.jp/en/press/2009/35.html>. Acesso em 25/05/2013.

- NOGGLE, G.R. and FRITZ, G.J. **Introductory plant physiology**. Second edition, Prentice-Hall, Inc., p. 627. New Jersey, USA, 1983.
- OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e Você – O Fenômeno Climático**. Editora Transtec. São José dos Campos, São Paulo (SP), 2001. Disponível em: <http://www.cptec.br/mudancas_climaticas/pdf/EdmoCampos.pdf>. Acesso em: 21/09/2007.
- OLIVEIRA, L. J. C. **Mudanças Climáticas e seus Impactos nas Produtividades das Culturas de Feijão e do Milho no Estado de Minas Gerais**, Dissertação de Mestrado em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais - MG, Brasil, 2007.
- PILILÃO, F. R. **Evolução da Toponímia e da Divisão Territorial (1974-1987)**. pp. 7-8. DINAGECA – Maputo, 1987.
- PIDWIRNY, M. **Biogeochemical Cycling: Inputs and Outputs of Nutrients to Ecosystems**. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition, 2006. Disponível em: <<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/6a.html>>; acesso em: 05/03/2013.
- RANDRIAMAHEFASOA, T. M. S. **Circulation of the Indian Ocean and its climate variability with their impacts on northern Madagascar rainfall** - African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), pp. 3-11, 2011.
- ROCHA, A. M. **The influence of Global Sea Surface Temperature on Southern Africa Summer Climate**, (PhD thesis), University of Melbourne, p. 250, Melbourne, 1992.
- SAJI, N.H.; GOSWAMI, B.N.; VINAYACHANDRAN; P.N. and YAMAGATA, T. **A dipole mode in the tropical Indian Ocean**: Nature, 401, pp. 360-363, 1999.
- SANTOS, J. F. e PORTELA, M. M. **Caracterização de secas em bacias hidrográficas de Portugal Continental: aplicação do índice de precipitação padronizada, SPI, a séries de precipitação e de escoamento**. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. pp 4-8, Portugal, 2010.
- SAWANGUANE, J. **Prognóstico dos Rendimentos Qualitativos do Milho na Agricultura de Sequeiro em Moçambique**: Tese de Licenciatura em Meteorologia, Faculdade de Ciências, Departamento de Física - Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Maputo, 2005.
- SCHULZE, B. R. **South Africa World Survey of Climatology**: Climate of Africa, ed, J. F. Griffiths, Elsevier, vol. 10, pp. 501-586, Amsterdam, 1988.
- SILVA, E. C. **Evapotranspiração real em cultivo de milho no Agreste Alagoano**: Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Área de Concentração: Processos de Superfície Terrestre - Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia, Maceió – AL, 2010.
- SILVA, J. S e LUNA, H. P. L. **Modelagem Computacional da Interdependência entre o fenômeno ENOS e a precipitação pluviométrica em Maceió** - Congresso Latino-

Iberoamericano de Investigación Operativa-CLAIO/Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional-SBPO, pp. 3-5, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2012.

SITOE, T. A. **Agricultura Familiar em Moçambique Estratégias de Desenvolvimento Sustentável**, Maputo, 2005. Disponível em: <http://www.sarpn.org/documents/d0001749/Agricultura_Mocambique_June2005.pdf>. Acesso em: 04/02/2012.

TALJAARD, J. J. **Change of Rainfall Distribution and Circulation Patterns Over Southern Africa in Summer**: Journal of Climatology, vol. 6, pp. 579-592, 1986.

TANKAR, I. **Efeitos da segurança de posse da terra no rendimento per cápita das famílias rurais**: Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Agrário, Área de Desenvolvimento Rural, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal - Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Maputo, 2009.

THE WORLDWATCH INSTITUTE - ESTADO DO MUNDO: **Inovações que Nutrem o Planeta**; Relatório do Worldwatch Institute sobre o Avanço Rumo a uma Sociedade Sustentável; UMA-Universidade Livre da Mata Atlântica, 2011.

THOM, H. C. S. **A note on the Gamma Distribution**. Monthly Weather Review, Washington, v.86, n.4, pp.117-122. 1958.

TREMBERTH, K. E. **The Definition of El Niño**. 19 Bull. Amer. Met. Soc., 78, 2771-2777. National Center for Atmospheric Research, Boulder, 1997.

TYSON, P. D. **Atmospheric Modulation of Extend Wet and Dry Spells Over South Africa 1958-1978**: Journal of Climatology, vol. 4, pp. 621-635, 1984.

TYSON, P. D. **Climatic Change and Variability in Southern Africa**, Oxford University Press, p. 220. Cape Town, South Africa, 1986.

UELE, D. I. **Variação Temporal e Espacial da Precipitação, sua Relação com o Calendário Agrícola na Região Sul de Moçambique**: Tese de Licenciatura em Meteorologia, Faculdade de Ciências, Departamento de Física - Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Maputo, 2008.

VALOI, E. **Ausência de políticas agrárias em Moçambique**, Artigo, Maputo, 2011; disponível em: <<http://valoie.blogspot.com.br/2011/05/ausencia-de-politicas-agrarias-em.html>>; acesso em: 20/03/2012.

VAZ, C. **Manual de Hidrologia**. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Rural - Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Maputo, 1997.

VENTOS CATABÁTICOS. In: **Climatologia Geográfica**. Disponível em: <<http://geoblogger10.blogspot.com.br/2011/04/ventos-anabaticos-e-vento-catabaticos.html>>; acesso em 23/02/2012.

World Meteorological Organization – WMO; **Guide to meteorological instruments and methods of observation**: Preliminary seventh edition, Geneva, WMO, Technical Report 8, p. 569, 2006.

YAMAGATA, T; BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; GUAN, Z.; ASHOK, K. and SAJI, H. N. **Comments on “Dipoles, Temperature Gradients, and Tropical Climate Anomalies” - The Indian Ocean Dipole: A Physical Mode**. American Meteorological Society, 2003.

ZHANG, Y.; WALLACE, J. M. and BATTISTI, D. S. **ENSO-like Interdecadal Variability: 1900–93**. Vol. 10, Journal of Climate, Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Seattle, pp. 1004-1020, Washington, 1997.

ZOLHO, R. **Mudanças Climáticas e as Florestas em Moçambique**, Edição: Amigos da Floresta - Centro de Integridade Pública (CIP), Maputo, 2010.

CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DOS MODOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO CULTIVO DO MILHO EM REGIME DE SEQUEIRO

2.1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade milenar, desenvolvida pelo homem e que o relaciona com o solo de uma forma metódica e sistemática, tendo como principal objetivo a produção de alimentos. É por meio da agricultura que também se obtém a matéria-prima para a produção de diversos produtos, tais como, o vestuário, medicamentos ou ferramentas; sendo que a criação de gado, a pecuária, é também incluída no conceito de agricultura. É uma forma de modificar o meio natural, que vai desde o preparo do solo, o plantio até à colheita e armazenamento. Este processo pode passar por outras fases intermédias como a conservação e irrigação das culturas, o combate a pragas e diversos tipos de animais, atividades que visam melhorar as espécies vegetais e animais. Todas estas atividades podem ser feitas de forma tradicional, recorrendo ao trabalho manual e ao auxílio da força animal, ou de uma forma mais moderna, com um elevado nível de mecanização e recorrendo a tecnologias mais avançadas (GONÇALVES, 2010).

As produções agrícolas comerciais e a mercantilização global de alimentos básicos não contribuem para melhorar a qualidade e o consumo de alimentos em diversos países em desenvolvimento, especialmente nos países que realizam importações de alimentos. Um aumento da produção também não resulta necessariamente em sustentabilidade ou eficiência em longo prazo, os ganhos de curto prazo, decorrentes do aumento da produção, são frequentemente anulados pelos altos preços dos insumos e pela degradação ambiental (WRI, 2005). Padrões de comércio alimentar distorcidos e a vulnerabilidade dos exportadores de alimentos em relação à crescente ameaça das mudanças e da variabilidade climática reduzem ainda mais a acessibilidade e disponibilidade dos alimentos, especialmente para os grupos pobres e vulneráveis (ALTANGEREL e HENAO, 2010).

A agricultura é o maior setor das economias dos países da África Austral e uma importante fonte de subsistência para cerca de 277 milhões de pessoas (WORLD BANK, 2013). Tal como é na África Austral, a agricultura é a atividade base com maior potencial

para alavancar o crescimento da economia moçambicana. Ela é igualmente a atividade que garante a segurança alimentar e renda da maior parte da população moçambicana.

O setor agrário é essencialmente constituído pela agricultura familiar, praticada em pequenas explorações (parcelas), em regime de sequeiro e emprega mais de 80% da população rural. Assim como em grande parte dos países do continente, sua produtividade agrícola está muito abaixo do seu potencial. O rendimento médio do milho na agricultura familiar é cerca de 0,85 ton/ha, considerado baixo quando comparado com o da África 1,35 ton/ha (SAWANGUANE, 2005).

A agricultura é uma atividade que depende diretamente dos elementos climáticos, principalmente, quando conduzida em regime de sequeiro. Dentre os fatores climáticos, a precipitação pluvial é a que mais influencia na produtividade agrícola das regiões Tropicais. Variabilidades ou mudanças climáticas podem afetar o regime de precipitação e temperatura do ar, o zoneamento agrícola e risco climático de diversas culturas, assim como as técnicas de manejo.

Assim, o segundo capítulo tem por objetivo quantificar o rendimento do milho em regime de sequeiro, considerando a influência dos MVC atuantes na RSM; simular o rendimento do milho em regime de sequeiro utilizando modelos numéricos solo-água-planta-atmosfera, para três épocas de plantio para longas séries climáticas; contribuir e propor o desenvolvimento de um modelo de previsão e calendarização dos plantios na época chuvosa, com vistas a serem utilizados como alternativas para reduzir e minimizar as perdas de culturas decorrentes do estresse hídrico e; readequar os modelos existentes, melhorando-os para a otimização da maior produtividade, aproveitando os recursos naturais disponíveis e expansão das áreas de cultivo do milho.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 A agricultura e o clima

Os componentes ambientais, tais como atmosfera, água e solo trocam entre si energia e massa, estes fluxos são responsáveis pela permanente variação das grandezas físicas que caracterizam o ambiente em que decorre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Dessas grandezas, a radiação solar, a precipitação pluvial, a temperatura do ar, a temperatura do solo, a umidade, a nebulosidade, a concentração de CO₂, a pressão atmosférica, o vento, são todas passíveis de serem medidos por métodos físicos (NOGGLE e FRITZ, 1983), estabelecem as condições em que decorre o crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas.

As alterações nas condições ambientais têm consequências nos ecossistemas agrícolas. Em grande escala as alterações nas condições ambientais modificam a localização das principais zonas de produção no planeta, assim como das áreas onde as culturas e as técnicas culturais estarão adaptadas de modo a tornar possível atingir níveis de produtividades rentáveis. Por outro lado, não existe uma resposta única por parte das diferentes plantas, ou seja, sempre haverá vantagens para umas e desvantagens para outras. Pode-se, por isso, afirmar que a produtividade agrícola é vulnerável às alterações do clima (REDDY e HODGES, 2000).

Atualmente, observa-se crescente tendência de minimizar os efeitos adversos da exploração agrícola sobre o ambiente, com consumidores a impor restrições e especificações para a produção sustentável. Contudo, essa tendência deve estar associada à preocupação de suprir o fornecimento de alimentos para as populações locais. Lobell e Burke (2009) acreditam que seja agricultura, a atividade humana com maior potencial de impactos, devido aos possíveis cenários de variabilidade e mudanças climáticas. Contudo, a agricultura também é a atividade com potencial promissor e, a que pode trazer maiores benefícios para mitigar os efeitos das adversidades climáticas, em curto e médio prazo, já que dispõe de práticas que fixam o carbono no solo e minimizam a dependência de combustíveis fósseis (WORLDWATCH INSTITUTE, 2011).

2.2.2 Agricultura sustentável

Agricultura sustentável pode ser definida como uma agricultura ecologicamente equilibrada, economicamente viável, socialmente justa, humana e adaptativa (REIJNTJES *et al.*, 1992). Conforme Stockle *et al.* (1994), algumas definições de agricultura sustentável incluem ainda a segurança alimentar, produtividade e qualidade de vida. Para a *Consultative Group on International Agricultural Research* – (CGIAR-FAO, 1988), “Agricultura Sustentável é o manejo bem sucedido dos recursos agrícolas, satisfazendo às necessidades humanas, mantendo ou melhorando a qualidade ambiental e conservando os recursos naturais” (REIJNTJES *et al.*, 1992).

Certamente um dos principais problemas da sustentabilidade é a pobreza. A sustentabilidade da agricultura é fortemente relacionada com a manutenção de um sistema político-social que proporcione assim como condicione a distribuição e utilização de recursos desiguais. A agricultura não pode ser sustentável se no seu contexto existe uma má distribuição de poder, direito às terras, bens e saúde entre as pessoas (ALLEN, 1993).

Para que a agricultura seja verdadeiramente sustentável, tem que necessariamente ter como base o atendimento das demandas básicas dos seres humanos, para ambas as gerações que ainda por vir e para as que presentemente vivem. Tais necessidades incluem o consumo (alimentos, água, combustível); proteção (roupas, abrigo); dignidade e liberdade (ALLEN, 1993).

Conforme afirma Thrupp (1993) a sustentabilidade não pode ser considerada como uma questão puramente ambiental ou tecnológica. Para tal é fundamental que se confrontem e se oponham temas socio-políticos com as idéias relacionadas com determinismo tecnológico ou ecológico.

“As causas da degradação dos recursos naturais e humanos não estão apenas relacionadas com fatores ambientais e a erros/problemas tecnológicos, mas sim a fatores socio-econômicos e políticos que determinam como e porque as pessoas utilizam os solos, os recursos naturais e as tecnologias. Isso implica em dizer que para que se tenha uma agricultura sustentável é necessário efetuar mudanças não somente tecnológicas ou ecológicas, é crucial que ocorram mudanças político-econômicas e sociais” (THRUPP, 1993).

Ao nível das comunidades, para que a agricultura seja efectivamente sustentável deve respeitar as diversidades e independências locais, assim como utilizar os conhecimentos da ciência moderna, para desenvolver e não marginalizar o saber tradicional acumulado ao longo das gerações. Além disso, investir nas capacidades dos pequenos agricultores e/ou camponeses a adoptar práticas sustentáveis irá ajudar a garantir maiores cultivos e rendimentos, promover o consumo de alimentos locais e, principalmente, no desenvolvimento económico local, assim como na fixação das populações nas comunidades.

Moçambique está dotado de um potencial para desenvolver uma agricultura sustentável a médio e longo prazo. Porém, é necessário que se adotem políticas económicas e sociais, que visam em transformar a economia familiar de subsistência e de baixo rendimento para uma agricultura mais integrada, orientada na criação de emprego, autossuficiência alimentar, produção de matéria prima para indústria nacional e exportação.

2.2.3 Agricultura de sequeiro

Agricultura de sequeiro⁶ é uma técnica agrícola aplicada para cultivar terrenos onde a pluviosidade é diminuta. Porém, esta técnica não impede que o plantio seja irrigado em época de seca. O plantio de sequeiro geralmente, é intensivo e desenvolve-se nos planaltos da África, com pouca rotação de culturas e aproveitamento do esterco. Essa forma de agricultura também é utilizada no Nordeste e no Cerrado brasileiro e na fronteira dos Estados Unidos com o México, uma região muito seca onde máquinas escavam para revirar o extrato úmido da terra e expô-lo à superfície do solo (QUARANTA, 2013).

O mesmo autor em seu estudo acrescenta que um sistema largamente utilizado para classificar ambientes com água limitada, baseia-se na precipitação anual. As terras áridas têm menos de 250 mm de precipitação anual e as semiáridas têm uma precipitação média anual entre 250 a 500 mm. A agricultura de sequeiro depende de técnicas de cultivo específicas que permitem o uso eficaz e eficiente da limitada umidade do solo (QUARANTA, 2013).

⁶ A expressão “sequeira” deriva da palavra seco e refere-se a uma plantação em solo firme. A agricultura de sequeiro é, geralmente, desenvolvida em regiões que possuem maior densidade populacional, onde ela é mais intensa e minuciosa, recorre ao pousio e á rotação de culturas, estende-se também na pecuária fazendo o uso de esterco na fertilização dos solos (GONÇALVES, 2010). Agricultura de sequeiro é o cultivo de uma determinada cultura sem irrigação em regiões onde a precipitação anual é inferior a 500 mm (QUARANTA, 2013).

2.2.4 Agricultura em Moçambique

Em Moçambique, assim como na maior parte dos países do continente africano, a produtividade agrícola está muito abaixo do seu potencial (WORLD BANK, 2013). Sawanguane (2005) e Valoi (2011) citam que Moçambique é um dos países da região com baixo rendimento do milho. De acordo com Sawanguane (2005) e Sánchez *et al.* (2011), o rendimento médio do milho na agricultura familiar é cerca de 0,85 ton/ha, considerado baixo quando comparado com o da África 1,35 ton/ha. A estimativa do rendimento potencial está em torno de 5 a 6,5 ton/ha (SÁNCHEZ *et al.*, 2011). A produtividade na agricultura é uma das principais prioridades do Plano Estratégico de Desenvolvimento Agrícola (PEDSA) em Moçambique.

2.2.5 Aspectos agro-climatológicos

Moçambique possui três zonas agro-climáticas bem diferentes que são as seguintes: (i) zona ao norte do rio Zambeze a mais úmida, com disponibilidade de água de cerca de 80% para satisfazer as necessidades das culturas em todo ciclo vegetativo, no período bem definido, o do período das chuvas. Isto contribui de forma que a região seja afetada por problemas de déficit hídrico de dois anos em cada dez. (ii) zona centro, entre o sul do rio Zambeze e o norte do rio Save, com a probabilidade de satisfazer as necessidades hídricas das culturas em 60%. Isto significa que o risco de ocorrência de secas seja de quatro anos em cada dez. (iii) zona sul, entre o sul do rio Save e a ponta de Ouro, com o risco de apresentar deficiência hídrica de sete anos em cada dez (MICOA, 2007).

As áreas mais férteis estão nas províncias do norte e centro do país (MINAG, 2009). A precipitação anual no norte varia de 1.000 a 1.800 mm. A maior parte da produção agrícola é desenvolvida no norte. A região central também possui bom potencial para a agricultura com solos aptos a agricultura e precipitação anual que varia entre 1.000 e 1.200 mm. A região sul é a mais seca, com solos arenosos e pouco férteis, e com maior risco de sofrer os impactos da seca. A produção agrícola total da região sul, em comparação com as regiões centro e norte, é relativamente baixa.

2.2.6 Agricultura de sequeiro em Moçambique

Moçambique é um país essencialmente agrícola, com mais de 36 milhões de ha de terras agricultáveis (TANKAR, 2009; PEDSA, 2010). Mais de 20 milhões de habitantes, dos quais 70% vivem nas zonas rurais, tem a agricultura como a principal fonte de segurança alimentar e rendimento para a maioria dos agregados familiares. Isto torna a terra um dos principais fatores de produção dos moçambicanos (TANKAR, 2009). Ao nível global, 60 a 70% de produção alimentar provêm da agricultura de sequeiro, e na África Subsaariana mais de 95% da produção alimentar provêm da agricultura de sequeiro (FALKENMARK e ROCKSTRÖM, 2005).

De um modo geral, o setor agrícola em Moçambique é constituído essencialmente por agricultores familiares. O setor familiar pratica uma agricultura tradicional de subsistência⁷ com recorrência a investimentos reduzidos, em que predomina a agricultura de sequeiro, com o uso de pequenas áreas cultivadas e baixo nível tecnológico (INE, 2002). A agricultura familiar ocupa maior parte de terras das zonas rurais e, é constituída por pequenas explorações (cultivando menos de 5 ha), este setor concentra cerca de 99% das unidades agrícolas (3.090.197 unidades familiares) e ocupa mais de 95% da área cultivada do país. As médias explorações agropecuárias são constituídas por 37.296 unidades; as grandes explorações são 429 e, representam apenas 1% do total das explorações agropecuárias no país (SITOE, 2005).

As secas, cheias e os extremos de temperatura do ar, associados ao aumento de áreas com susceptibilidade a desertificação, exercem impactos significativos sobre a lavoura e a pecuária, e constituem fatores de risco e perda de culturas. Para as culturas de milho, arroz, mapira e amendoim, a seca constitui um risco de perda de safras no nível do país entre 48 e 73% (INGC, 2009).

⁷ Agricultura de subsistência é aquela em que, basicamente, a plantação é feita geralmente em pequenas propriedades (minifúndios), sem a utilização de técnicas modernas. Os instrumentos mais usados são: enxada, foice e arado. Raramente são utilizados tratores ou outro tipo de maquinários e a finalidade principal é a sobrevivência do agricultor e sua família, não destinada para a venda os produtos excedentes em contraposição à agricultura comercial.

2.2.7 Utilização da terra agrícola e adequação das culturas

Em Moçambique, apenas 5 milhões de ha se encontram em cultivo e 3,3 milhões de ha de campos irrigáveis, dos quais apenas 50.000 ha, o equivalente a 0,13% do total das terras agricultáveis são irrigados nessas últimas duas décadas. Os produtos mais importantes do setor agrícola são: milho, arroz, açúcar, feijão, amendoim, mapiara, mandioca, mexoeira, algodão, caju, madeira, copra, chá e citrinos. A produção agrícola possui dois principais setores de produção: o setor familiar e o setor empresarial, sendo que, o setor familiar é constituído por cerca de 2,5 milhões de famílias que exploram cerca de 95% da área atualmente cultivada, representa grande potencial produtor (CEMO, 2010).

Mais de 95% de culturas alimentares em Moçambique são produzidas em condições de sequeiro. A média dos rendimentos familiares por área, ao longo do período 1986-2007, para as principais culturas (milho, arroz, mapira), assim como mandioca, amendoim e feijão, foi muito baixa (aproximadamente 1 ton/ha) e não mostraram tendência de aumentar. As campanhas agrícolas correspondentes ao período de 1997/98 a 2003/04 não registraram aumento dos rendimentos em todo país. Contudo, grande parte do aumento da produção tem resultado de um aumento da área cultivada e não de um aumento da produtividade (IIAM, 2008).

A expansão das terras cultivadas em Moçambique, frequentemente está relacionada a vários estágios de recultivo de vegetação em áreas de pousio⁸, no método tradicional de culturas alternadas (consórcio de culturas). Historicamente, as áreas de floresta eram apenas usadas quando necessário, de forma a assegurar o fornecimento de alimentos para toda a família. No entanto, com o rápido crescimento da população (taxa anual de 2,4%, do Cap. 1, seção 1.2.7), resultou em pressão considerável nas terras de cultivo disponíveis para produzir mais alimentos, o que proporcionou ciclos mais curtos de pousio e, assim, redução da fertilidade do solo, associado à degradação e erosão do solo e do ambiente. Este método tradicional de culturas alternadas não poderá subsistir, com esse aumento contínuo da pressão populacional (INGC, 2009).

⁸ Refere-se à interrupção do cultivo da terra depois da colheita. Em algumas zonas de Moçambique os camponeses deixam as terras em pousio em um período de 2 a 5 anos. Em: <<http://aulete.uol.com.br/pousio#ixzz2IL5GJ5AC>>.

2.2.8 O milho: características

O milho é o segundo cereal mais importante em termos de sua produção no mundo, após o trigo e seguido do arroz, sendo o primeiro quanto ao rendimento. Mundialmente, mais de 300 milhões de toneladas de milho são produzidos por ano. Em África, o milho é a base de alimentação para cerca de 300 milhões de pessoas (SÁNCHEZ *et al.*, 2011).

Na África Subsaariana, depois da mandioca, o milho constitui a segunda cultura mais importante. Em Moçambique, é a principal cultura para a segurança alimentar da maior parte da população que vive nas zonas rurais. Esta cultura é a principal fonte de calorias e em alguns casos de proteínas, assim como constitui a principal fonte de rendimento. Majoritariamente o milho produzido em Moçambique é usado para o consumo humano, sendo uma pequena fração destinada ao consumo animal e outra ínfima à indústria (FATO *et al.*, 2011).

Este cereal é cultivado em todo o país, desde os solos pobres e arenosos até aos ricos em nutrientes e argilosos. As populações de todas as regiões do país cultivam o milho quase durante todo o ano, mas principalmente na época quente e chuvosa. A irregularidade do início da época e escassez das chuvas constituem dificuldades para a definição das datas de sementeira nas últimas duas décadas. Para além da escassez das chuvas, existem outros fatores que contribuem na baixa produção e rendimento do milho em Moçambique, são eles: a baixa fertilidade dos solos, pragas e doenças e fatores socioculturais. Em consequência destes fatores, os rendimentos obtidos desta cultura são baixos que variam de 0,6 a 1,2 ton./ha (FATO *et al.*, 2011).

O milho (*Zea mays*) é uma gramínea anual originária da América Central e que foi domesticada como lavoura durante milhares de anos. Como lavoura de grão, o milho tem diversas características incomuns ou mesmo exclusivas (BROMILOW, 2003). Dentro da classificação botânica, o milho pertence à ordem *Gramineae*, família *Graminaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Maydeae*, gênero *Zea*, espécie *Zea mays*. O Gênero *Zea* é considerado monotípico e constituído por uma única espécie, ou seja, *Zea mays* L. É uma

gramínea pertencente ao grupo de plantas com metabolismo C⁴⁹ e com ampla adaptação a diferentes ambientes. Sua utilização na alimentação humana remota há séculos, e constitui alimento tradicional da dieta de vários povos, principalmente aqueles que se originaram das civilizações Astecas, Maias e Incas. A evidência mais antiga de milho cultivado nas Américas foi encontrada na caverna de Guilá Naquitz, em Oaxaca, México, e datada em 6.250 anos atrás (SILVA, 2010).



Figura 20: Milho (*Zea mays*) cultivado em regime de a) sequeiro e b) por irrigação. Fonte: Adaptado de PEDSA (2011).

2.2.9 Necessidades edafoclimáticas do milho

A fenologia do milho é influenciada por dois principais fatores ambientais, a disponibilidade térmica e a radiação solar, sendo que a primeira explica melhor a duração dos seus períodos de desenvolvimento. Normalmente, considera-se uma relação linear entre a duração desses períodos e o desenvolvimento da planta, condições de boa disponibilidade hídrica e sanitária (SILVA, 2010).

Segundo Fato *et al.* (2011), em Moçambique o bom desenvolvimento e produtividade da cultura do milho dependem de determinadas condições, que são elas: distribuição

⁹ Plantas C⁴, são assim chamadas por possuírem um ciclo C⁴ de fixação de carbono, apresentam uma primeira reação de carboxilação que resulta em um composto de 4 carbonos (o ácido oxaloacético), produto da reação da Fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCASE).

homogênea das chuvas e entre 450 a 600 mm durante o ciclo; dias quentes do verão (temperaturas do ar médias diárias maiores que 19°C); noites frescas (temperaturas do ar médias noturnas maiores que 12,8 °C e menores que 25 °C); solos de textura média, bem drenados e com temperaturas do ar maiores que 10 °C durante o estágio da germinação.

Solos mais arenosos, pouco profundos ou com baixo teor de matéria orgânica geralmente apresentam menor capacidade de fornecer água abundante para as plantas. Portanto, em situações em que a disponibilidade hídrica costuma ser menor, e os problemas de quebraimento são maiores, aconselha-se que a quantidade plantada seja menor que no período normal. Para o milho, as épocas mais críticas de déficit hídrico são a de pendoamento (florescimento) e espigamento (formação dos grãos). Nesses estádios a cultura precisa de cerca de 200 mm de água (ASSAD e PINTO, 2008).

O milho pode ser cultivado em uma variedade de solos desde os arenosos até aos argilosos. Contudo, esta cultura se adequa melhor em solos profundos, de textura média com alto teor de matéria orgânica, boa capacidade de conservação e drenagem hídrica, boa disponibilidade de nutrientes necessários para o crescimento da planta e o PH ótimo que varia de 5 a 7. Solos alcalinos e salinos não são adequados para esta cultura. Os primeiros geralmente são propensos a alagamentos, enquanto que os segundos afetam negativamente no rendimento do milho, pois estes por sua natureza possuem alto teor de sais que inibem o crescimento da cultura (ASSAD e PINTO, 2008).

Conforme Furtado *et al.* (2007), a influência nociva dos sais na agricultura se reflete diretamente no crescimento da cultura e se manifesta primeiramente na germinação. O excesso de sais aumenta o potencial hídrico do meio, o que dificulta a absorção da água pela semente. Posteriormente, processos de divisão e alongamento celular são também afetados, assim como a mobilização das reservas indispensáveis para o processo de germinação (MAYER e POLJAKOFF, 1982).

Além da disponibilidade hídrica, outro conceito usado para acompanhar e avaliar o crescimento e desenvolvimento do cultivo do milho é o de graus-dia (GD)¹⁰. O método de

¹⁰ Graus-dia podem ser compreendidos como o acúmulo diário de temperaturas nessa faixa, ou seja, é a diferença entre a temperatura média do dia e a temperatura base (considerando existir uma única temperatura base). Fora desse intervalo a planta não se desenvolve ou o faz a taxas muito pequenas. Ao somatório dos graus-dia ao longo

graus-dia tem sido frequentemente, empregado para determinar a duração dos subperíodos e o ciclo total de uma cultura no campo, já que a relação entre a temperatura e a taxa de desenvolvimento relativo da planta é considerada linear (PRELA *et al.*, 2006). Este método foi usado por este autor, com intuito de relacionar os índices de graus-dia e o fenômeno ENOS para o município de Piracicaba (SP) e analisar a variação e as épocas de ocorrência.

O GD se baseia em duas temperaturas do ar limites, abaixo ou acima das quais a cultura cessa o seu crescimento e desenvolvimento, ou se ocorre é a taxas mínimas. Essas temperaturas são denominadas temperaturas basais, entre as quais a planta tem pleno desenvolvimento. A temperatura mínima aceitável pelo milho varia entre 8 e 10 °C, e a máxima, entre 30 e 32 °C. Quanto mais quente, implica menor ciclo das plantas, pois a energia se acumulará mais rapidamente (FATO *et al.*, 2011). Na região sul, estes longos períodos quentes têm implicações de condicionarem o ressecamento dos solos dado o fato de estes serem arenosos de baixa fertilidade e baixo poder de retenção de água.

A época em que o plantio é feito é um dos fatores que mais influenciam no rendimento do milho, uma vez que determina a exposição da cultura à variação dos fatores climáticos limitantes. Plantios em épocas inadequadas podem afetar o porte, o ciclo e o rendimento das plantas e aumentar as perdas (ASSAD e PINTO, 2008). No entanto, a escolha da melhor época de plantio, ou seja, aquela que faz coincidir a maior área foliar por planta com os dias mais longos do ano, quando não há limitação hídrica, é importante para produção potencial de grãos por planta (SILVA, 2010). Silva (2010) enfatiza que um plantio precoce pode implicar na redução da taxa de crescimento e aumento dos subperíodos de desenvolvimento, sendo observado o inverso com o plantio tardio. De acordo com Sánchez *et al.* (2011), o rendimento do milho é frequentemente afetado quando o plantio é tardio.

2.2.10 O cultivo do milho em regime de sequeiro

Na maior parte do território moçambicano o milho é cultivado em regime de sequeiro, ou seja, sem suplementação da água para a cultura por meio da irrigação. Nessas condições a regularidade dos períodos de chuva é de extrema importância. No regime de sequeiro, a precipitação é a principal fonte de água para as culturas. Ela pode influenciar diretamente ou

de todo o ciclo de uma cultura é denominado de constante térmica. Para o cálculo de graus-dia (GD em °C.d) tomou-se como temperatura base (T_b em °C) igual a 6 °C, pois a maioria das espécies agrícolas iniciam seu crescimento a partir dessa temperatura, chamada Zero Vital (MOTA *et al.*, 1981; PRELA *et al.*, 2006).

indiretamente nas plantas, através das modificações que podem provocar sobre o solo, desempenhando grande influência na meteorização do solo com toda sua importância física, química e biológica para a vida das plantas (CUMBA, 2001).

Em Moçambique, a chuva é um dos elementos do clima que com maior frequência limita o crescimento e desenvolvimento das culturas, pois a sua distribuição no decurso do ano é muito irregular e a sua variabilidade interanual é maior. Diante deste fato, o rendimento da produção do milho é significativamente abaixo da média, quando comparado com o restante da África (1,35 ton./ha) (SAWANGUANE, 2005; SÁNCHEZ *et al.*, 2011), o que torna o cultivo dessa cultura uma atividade de alto risco.

2.2.11 O calendário agrícola

O calendário agrícola é uma ferramenta interativa e dinâmica, que permite tanto ao produtor agrícola (camponês e/ou pequeno agricultor), ao técnico em extensão rural assim como ao público em geral, trabalhar baseando-se nele para verificar as datas ideais de plantio, assim como planejar suas atividades agrícolas. Pretende-se neste trabalho disponibilizar ao público alvo, esta ferramenta de predactibilidade e acompanhamento das diferentes datas de plantio da cultura do milho em regime de sequeiro, em função das condições proporcionadas pelos MVC atuantes nas regiões da África Austral e Sul de Moçambique.

Os eventos dos fenômenos meteorológicos adversos contribuem para maiores prejuízos agrícolas, que na maioria das vezes causam maiores preocupações em diversos setores ligados ao planejamento agrícola. Sandre *et al.* (2009) consideram a variabilidade climática não prevista como uma das principais fontes de risco à atividade agrícola.

No entanto, há uma necessidade conjunta de os camponeses e técnicos em extensão rural garantirem a sustentabilidade agrícola, a partir do uso e aplicação de um calendário agrícola nas comunidades, como forma de minimizar os impactos negativos decorrentes da variabilidade climática. A sustentabilidade agrícola consiste em respeitar as diversidades e independências, utilizar os conhecimentos da ciência moderna para desenvolver, sem marginalizar o saber tradicional dos camponeses acumulado ao longo das gerações. Ela deve ser orientada pelo conhecimento local e por técnicas de conservação dos recursos, fazendo melhor uso dos bens e serviços oferecidos pela natureza sem danificá-la.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Área de estudo e dados climáticos

Neste capítulo, utilizaram-se os extremos diários da temperatura do ar (máxima - T_x e mínima - T_n °C) e a de precipitação (mm) total diária, adquiridos junto ao INAM, referentes a uma estação de cada grupo (G1, e G3) de estações com precipitações homogêneas do sul de Moçambique e identificadas na análise de agrupamento, discutido no Capítulo 1, além de uma estação que não apresentou características homogêneas com as demais analisadas (ND_g). Foram escolhidas as estações ID1 (G1), ID7 (ND_g) e ID10 (G3). A escolha destas estações se deu ao fato de elas estarem inseridas nas três províncias da RSM e, por apresentarem características comuns dos modos da variabilidade climática, atuantes nesta região de estudo. Convém acrescentar que os dados diários foram do período compreendido entre 1969 a 2004, que totalizou uma série de 35 anos, ou seja, superior ao recomendado para definir uma normal climatológica (30 anos).

Os dados meteorológicos utilizados foram submetidos a uma análise, que consistiu na organização, verificação e na consistência de sua qualidade, calculada com o auxílio do Programa Computacional para a Organização e Análise de Dados Meteorológicos, denominado CLIMA, desenvolvido pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) (FARIA *et al.*, 2003). Posteriormente, foram utilizados como dados de entrada no modelo agrometeorológico de simulação do crescimento e produtividade do milho.

2.3.2 Modelo Agrometeorológico

O modelo agrometeorológico utilizado no presente trabalho é dividido em dois submodelos: i) submodelo solo-água-planta-atmosfera e ii) submodelo de crescimento e desenvolvimento do milho. O primeiro determina o balanço de água no sistema solo-planta-atmosfera para a cultura do milho, baseado no balanço hídrico sequencial de Thornthwaite e Mather (1955), adaptado por Lyra *et al.* (2010) para cultivos agrícolas, sendo usado para penalizar os processos de crescimento e produtividade do módulo ii pela disponibilidade de água no solo. O segundo simula o crescimento (parte aérea - caule, folha e grãos - e raízes) e produtividade da cultura do milho, baseado no modelo proposto por Wolkschik (2004). O modelo foi implementado em ambiente de simulação *Model Maker*[®]. O modelo necessitou

como variáveis de entrada apenas dos dados meteorológicos (extremos diários da temperatura do ar e chuva diária), características físico-hídricas do solo (capacidade de campo e ponto de murcha) e da cultura (coeficiente de cultivo, profundidade do sistema radicular e partição de fotoassimilados).

Modelo solo-água-planta-atmosfera

O modelo solo-água-planta-atmosfera determinou os componentes do balanço de água no sistema solo-planta-atmosfera, com base no modelo desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para o balanço hídrico sequencial e adaptado por Lyra *et al.* (2010) para cultivos agrícolas.

O balanço de água de Thornthwaite e Mather (1955) pode ser representado pela seguinte equação (LYRA *et al.*, 2010):

$$ALT_i = (ARM_i - ARM_{i-1}) = (P_i + I_i) - ETR_i - EXC_i \quad (5)$$

em que, ALT (mm) é a alteração no armazenamento da água do solo ARM (mm); P (mm) é a precipitação pluvial; I (mm) é a irrigação; ETR (mm) é a evapotranspiração real e EXC (mm) é o excedente hídrico (drenagem profunda).

ARM foi determinado como segue:

$$ARM_i = \begin{cases} CAD_i \exp(NEG.ACUI_i / CAD_i) & ; \text{para } (P_i + I_i) - ET_{c,i} < 0 \\ ARM_{i-1} + (P_i + I_i - ET_{c,i}) & ; \text{para } (P_i + I_i) - ET_{c,i} \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

e

$$NEG.ACUI_i = \begin{cases} NEG.ACUI_{i-1} - (P_i + I_i - ET_{c,i}) & ; \text{para } (P_i + I_i) - ET_{c,i} < 0 \\ CAD_i \ln(ARM_i / CAD_i) & ; \text{para } (P_i + I_i) - ET_{c,i} \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

em que, $NEG.ACUI$ (mm) é o negativo acumulado.

Quando $(P_i + I_i) - ET_{c,i} < 0$, o $EXC_i = 0$ e ETR_i foi determinada pela eq. 6, caso contrário ETR_i , por definição, é igual a $ET_{c,i}$ e EXC_i foi obtido pela eq. 6. No presente caso, as simulações foram em regime de sequeiro, ou seja, $I_i = 0$ (mm).

No modelo adaptado, a capacidade de água disponível (CAD , mm) no solo foi variável durante o crescimento da cultura, sendo função da profundidade efetiva do sistema radicular ($z_{r,i}$, m) (PEREIRA *et al.*, 1997):

$$CAD_i = 1000(\theta_{cc} - \theta_{pm})z_{r,i} \quad (8)$$

em que, θ_{cc} e θ_{pm} ($m^3 m^{-3}$) são as umidades volumétricas do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente e o termo subscripto i representa o dia i . Consideraram-se os valores de θ_{cc} ($0,130 m^3 m^{-3}$) e θ_{pm} ($0,050 m^3 m^{-3}$) para um solo arenoso tabelado no boletim FAO56 (ALLEN *et al.*, 1998). Determinou-se também a água facilmente disponível ($AFD = pCAD$) e p ($= 0,55$) é o fator de disponibilidade de água no solo. O boletim FAO56 considera que abaixo da AFD a cultura encontra-se em déficit de água no solo por falta de água.

A profundidade do sistema radicular no dia i foi obtida em função do coeficiente da cultura único para as fases de desenvolvimento inicial e de crescimento, pela relação (ALLEN *et al.*, 1998):

$$z_{r,i} = [(K_{c,i} - K_{c_ini}) / (K_{c_int} - K_{c_ini})] (z_{r,x} - z_{r,n}) + z_{r,n} \quad (9)$$

em que, $K_{c,i}$ é o coeficiente da cultura para o dia i ; K_{c_ini} e K_{c_int} são os coeficientes da cultura inicial e intermediário, respectivamente e $z_{r,n}$ e $z_{r,x}$ são, respectivamente, as profundidades mínima (0,1 m) e máxima (0,6 m) do sistema radicular do milho. Nas fases de crescimento e final a profundidade da zona radicular foi considerada constante e igual a $z_{r,x}$.

De acordo com Pereira *et al.* (2002), o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera, por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas, dependem das condições da vegetação, do tamanho da área vegetada e do suprimento de água pelo solo, denomina-se evapotranspiração (ET). No presente estudo baseou-se no cálculo estimativo da

evapotranspiração de referência (ET_0) da cultura (ET_c) e real (ETR), para estimar a quantidade de água necessária em uma determinada superfície vegetada. A ET_0 é um valor indicativo da demanda evapotranspirativa da atmosfera de um local em um determinado período (PEREIRA *et al.*, 2002).

A evapotranspiração da cultura (ET_c , mm) foi determinada pelo método do coeficiente da cultura único ($ET_c = ET_0 \cdot K_c$) proposto no boletim FAO56 (ALLEN *et al.*, 1998), sendo ET_0 (mm) a evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Hargreaves-Samani (HARGREAVES e SAMANI, 1982) e K_c o coeficiente da cultura. Nas estimativas de ET_c , dividiu-se as fases de desenvolvimento do milho em quatro fases (inicial, crescimento, intermediário e final). Os comprimentos médios dessas fases foram comprimento inicial ($L_{ini} = 20$ dias); crescimento ($L_{cres} = 35$ dias), intermediário ($L_{int} = 40$ dias) e final ($L_{fim} = 35$ dias).

As variações nas características da vegetação e na cobertura média do solo durante os estádios de desenvolvimento resultam em mudanças no K_c . Para as condições de cultivo do milho no continente Africano, o boletim FAO56 sugere os valores de K_c para os estádios inicial ($K_{c_ini} = 0,90$), intermediário ($K_{c_int} = 1,20$) e final ($K_{c_fim} = 0,35$). As curvas de K_c que representam duas variações durante o ciclo foram obtidas, interpolando-se os coeficientes para os três estádios (K_{c_ini} , K_{c_int} e K_{c_fim}) do ciclo em função dos comprimentos médios dos respectivos estádios de desenvolvimento (ALLEN *et al.*, 1998; LYRA *et al.*, 2007).

A ET_0 foi determinada pelo modelo de Hargreaves e Samani (1982):

$$ET_0 = 0,0135(K_r)(R_a)(T_x - T_n)^{0,5}(T_m + 17,8) \quad (10)$$

em que: K_r é um coeficiente empírico (Hargreaves, 1994), sendo 0,190 para estações próximas da costa (≤ 20 Km) e 0,162 para estações no interior (> 20 Km) (ALLEN, 1997); R_a (mm d⁻¹) é a radiação extraterrestre ou radiação solar no topo da atmosfera; e T_m [$T_m = (T_x + T_n)/2$] em °C, é a temperatura do ar média diária.

A R_a ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) foi determinada da seguinte forma:

$$R_a = 37,586d_r(\omega_s \text{sen}\varphi \text{sen}\delta + \cos\varphi \cos\delta \text{sen}\omega_s) \quad (11)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right) \quad (12)$$

$$\delta = 0,4093 \text{sen}\left(\frac{2\pi J}{365} - 1,405\right) \quad (13)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan\varphi \tan\delta) \quad (14)$$

em que, R_a ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) é o total diário da radiação extraterrestre; a (0,25) e b (0,50) são coeficientes locais; d_r é a distância relativa Terra-Sol; φ (rad) é a latitude local; δ (rad) é a declinação solar; ω_s (rad) é o ângulo horário ao nascer do Sol; J é o dia Juliano.

Posteriormente R_a , em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, foi transformada em equivalente de evaporação (mm/d) pela sua divisão pelo calor latente de evaporação (λ , MJ kg^{-2}), ou seja, R_a / λ . Considerou-se λ constante, para temperatura do ar de 20°C , e de $2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$.

Modelo de crescimento e desenvolvimento

O modelo de crescimento e desenvolvimento de plantas de milho foi estruturado em três compartimentos principais, sendo que no primeiro compartimento calculou-se a taxa de assimilação diária de CO_2 por meio da fotossíntese bruta do dossel da cultura, no segundo o carbono assimilado foi convertido em glicose (carboidrato) e diminuído a quantidade de glicose necessária para atender a demanda da respiração de manutenção e no último compartimento, o restante da glicose foi translocado para os diferentes órgãos da planta, de acordo com a demanda de cada órgão, em função da taxa de desenvolvimento da cultura, sendo então calculado o incremento diário de matéria seca com base nos coeficientes de conversão de cada órgão da planta.

A assimilação bruta diária de CO₂ pelo dossel das plantas foi calculada da seguinte forma (FRANCE e THORNLEY, 1984; THORNLEY e JOHNSON, 2000):

$$P_d = \frac{P_m n}{k} \ln \left[\frac{\left(\Omega + \beta + (2\Omega\beta + \beta^2)^{1/2} \right)}{\left(\Omega \exp^{-kIAF} + \beta(2\Omega\beta \exp^{-kIAF} + \beta^2)^{1/2} \right)} \right] \quad (15)$$

em que, P_d é a fotossíntese bruta diária (kg m⁻² d⁻¹ de CO₂); $\Omega = (\alpha k RFA) / N$; $\beta = (1 - \tau) P_m$; τ é o coeficiente de transmissividade da radiação no dossel; $P_m = P_{m20} \Psi$; P_m é a fotossíntese bruta máxima (kg m⁻² s⁻¹ de CO₂); $\Psi = (t_{med} - t_b) / (t_r - t_b)$; P_{m20} é a fotossíntese máxima a 20 °C (kg m⁻² s⁻¹ de CO₂); t_r é a temperatura de referência fixada a 10 °C; t_b é a temperatura basal da cultura (°C); $t_{med} = [(t_x + t_n) / 2]$ é a temperatura do ar média diária (°C); N é a duração do dia (s); RFA é a radiação fotossinteticamente ativa (J m⁻² d⁻¹); k é o coeficiente de extinção da radiação no dossel (adimensional); α é a eficiência fotossintética inicial da cultura (kg J⁻¹ de CO₂); IAF é o índice de área foliar (m² de folha/ m² de solo) e n são as horas de brilho solar.

Consideraram-se para a fotossíntese máxima (P_{m20}) e a eficiência fotossintética inicial da cultura do milho (α) os valores sugeridos por de VRIES *et al.* (1989) e BARROS (1998): 1,4e⁻⁶ kg m⁻² s⁻¹ de CO₂ e 1,9e⁻⁸ kg J⁻¹ de CO₂, respectivamente. O coeficiente de extinção de luz (k) e coeficiente de transmissividade (τ), para a cultura do milho, foram considerados iguais a 0,65 e 0,10, respectivamente (BARROS, 1998).

A radiação fotossinteticamente ativa [MJ m⁻² d⁻¹] foi considerada uma fração da radiação solar global (R_g , MJ m⁻² d⁻¹), dada por: $RFA = 0,5R_g$. A radiação solar global foi determinada pelo modelo de Hargreaves e Samani (1982), baseado nos extremos de temperatura do ar, como segue:

$$R_g = K_r R_a (T_x - T_n)^{0,5} \quad (16)$$

Os termos da equação acima foram descritos anteriormente. A *RFA* foi depois transformada em $J\ m^{-2}\ d^{-1}$.

A assimilação bruta diária foi penalizada pela disponibilidade de água no solo determinada pelo modelo de solo-água-planta-atmosfera por um coeficiente (K_p), que varia de 0 - 1, em que 1 representa a condição potencial e zero indica estresse máximo, onde a P_d é nula. A relação a seguir representa o processo:

$$P_{dp} = P_d K_p \quad (17)$$

A penalização foi considerada ocorrer em duas etapas, a primeira fase potencial, na qual $K_p = 1$ e a segunda, a penalização ocorre em função da água remanescente no solo abaixo da *AFD*, da forma:

$$K_p = 1, \text{ quando } ARM \geq AFD \quad (18)$$

ou

$$K_p = ARM / AFD, \text{ quando } ARM < AFD \quad (19)$$

A transformação do CO_2 assimilado diariamente em carboidrato (glicose) foi realizada utilizando-se a equação:

$$A_g = P_{dp} \frac{30}{44} \quad (20)$$

em que A_g é a taxa de assimilação de glicose ($kg\ m^{-2}\ d^{-1}$ de CH_2O).

O carboidrato produzido diariamente foi utilizado, prioritariamente, para suprir a demanda da respiração de manutenção, que foi calculada multiplicando-se a matéria seca diária total acumulada individualmente em cada órgão da planta pelo coeficiente de respiração de manutenção, corrigido para a temperatura do ar média diária, o qual é estimado por (de VRIES *et al.*, 1989):

$$R_{mmed} = R_{mtr} \cdot Q_{10}^{(t_{med}-t_r)/10} \quad (21)$$

em que, R_{mmed} é o coeficiente de respiração de manutenção corrigido; R_{mtr} é o coeficiente de respiração de manutenção a temperatura de referência; Q_{10} é o coeficiente de temperatura; t_r é a temperatura de referência, fixada a 25 °C; t_{med} é a temperatura do ar média diária (°C).

Os valores dos coeficientes de respiração de manutenção a temperatura de referência (R_{m25}), expressos em massa de CH₂O por massa de matéria seca, usados no modelo, foram: 0,015 para caule, 0,01 para raiz, grãos e sabugo e 0,03 kg kg⁻¹ d⁻¹ para folhas e palha (BONATO *et al.*, 1999; ARORA e GAJRI, 2000).

O carboidrato líquido foi fracionado entre os órgãos da planta, em função da taxa de desenvolvimento da cultura. Adotou-se, nas simulações, o fracionamento de carboidrato para os diferentes órgãos da planta conforme sugerido por Wolschick (2004) e Wolschick (2007).

O acúmulo de matéria seca de determinado órgão da planta ao longo do tempo foi estimado por (de VRIES *et al.*, 1989):

$$\frac{dMS}{dt} = (P_d - R_{mmed}MS)Eg \quad (22)$$

em que, dMS/dt é a variação de matéria seca (kg m⁻² d⁻¹) e Eg é a eficiência de conversão de carboidrato em matéria seca (kg kg⁻¹).

Os valores de eficiência de conversão de carboidrato em matéria seca, utilizados no modelo, para as simulações foram: 0,72; 0,69; 0,72 e 0,73 kg MS kg⁻¹ de CH₂O para folha, caule, raiz e órgãos de reprodução, respectivamente (ARORA e GAJRI, 2000).

No modelo, o estágio de desenvolvimento da planta foi simulado considerando-se uma escala de desenvolvimento de 0 a 2, em que 0 representa a emergência das plantas, 1 o florescimento e 2 a maturação fisiológica, definidos por:

$$T_d = \frac{GD_n}{GDF}; \text{ para } 0 \leq T_d \leq 1 \quad (23)$$

ou

$$T_d = \frac{GD_n - GDF}{GDT - GDF}; \text{ para } 0 < T_d \leq 2 \quad (23)$$

em que, T_d caracteriza o estágio de desenvolvimento, GD_n (GD em °C.d) são os graus-dias acumulados até o n-ésimo dia após a emergência, GDF e GDT são os graus-dias necessários para a planta atingir, respectivamente, o florescimento e a maturação fisiológica.

O GD_n é calculado usando-se a equação (VILLA NOVA *et al.*, 1972):

$$GD_n = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{t_{x_i} + t_{n_i}}{2} \right) - t_b \right] \quad (24)$$

em que, t_x é a temperatura do ar máxima no i-ésimo dia após a emergência (°C); t_n é a temperatura do ar mínima no i-ésimo dia após a emergência (°C) e t_b é a temperatura basal da cultura (10 °C).

O índice de área foliar (IAF) foi determinado pela multiplicação da matéria seca acumulada nas folhas pela área foliar específica (AFE). No modelo se utilizou o valor médio de AFE (18 m² kg⁻¹) obtido experimentalmente por Wolschick (2004) e Wolschick (2007).

Realizaram-se as simulações do processo de crescimento considerando a ocorrência de senescência de folhas. As perdas devidas à senescência, estimadas a partir dos dados experimentais e tendo por base valores citados na literatura (de VRIES *et al.*, 1989; COSTA e BARROS, 2001), foram de 0,01 kg m⁻² de CH₂O para folha e caule, a partir de T_d igual a 1,62 (estádio de grão dentado), e de 0,0000001 kg m⁻² de CH₂O para as raízes, e a partir de T_d igual a 1,54 (estádio de grão farináceo). Na simulação do acúmulo de matéria seca nos grãos considerou-se que a matéria seca perdida pelas folhas, caule e raízes, devido à senescência, foi translocada para os grãos.

Simulações

Para cada província e ano da série meteorológica foram definidas três datas de plantio para iniciar as simulações do modelo. As datas de plantio foram baseadas no calendário agrícola do milho no sul de Moçambique (FATO *et al.*, 2011). Os plantios foram: precoce (15 de outubro), normal (15 de novembro) e tardio (15 de dezembro). O armazenamento de água no solo na data de plantio foi considerado igual a capacidade de água no solo ($ARM = CAD$).

As simulações foram realizadas no passo de tempo diário, considerando o máximo de 125 dias para o ciclo da cultura. Contudo, o final do ciclo variou de ano para ano e entre datas de plantio, visto que o modelo considera o desenvolvimento da cultura em função do tempo térmico (GD_n), sendo necessários 1.600 (GD em $^{\circ}C.d$) para completar o ciclo.

Para cada data de plantio e província a produtividade ou rendimento final de grãos foi padronizado pela seguinte relação: $RP = (P_i - \mu) / \sigma$, em que P_i é a produtividade do ano i , μ é a média normal e σ o desvio padrão da produtividade da série. Ou seja, se RP em torno de $\pm 0,5$ o rendimento foi considerado normal, se RP apresentar valor positivo (negativo) o rendimento foi acima (abaixo) do normal.

Os resultados das simulações dos componentes do balanço de água no solo foram avaliados considerando o ENOS, visto ser o modo de variabilidade climática de maior frequência dos avaliados no Cap. 1. Assim, agruparam-se os resultados por anos de El-Niño, Neutro e La-Niña, considerando cinco anos para cada sinal do ENOS e avaliados de acordo com o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) para essas condições.

O ISNA é um indicador do desempenho de determinada cultura, que é baseado na disponibilidade de água, sendo que, quanto maior for o valor do índice, menor é o déficit hídrico da cultura (FEWS NET, 2007; MABILANA *et al.*, 2012). Para estas simulações foi considerado um valor limite médio do índice (LMI igual a 0,55), valor esse em que a cultura estaria em condição de estresse hídrico se $ISNA < 0,55$, ou seja, quanto menor for o valor do ISNA, maior é o déficit hídrico da cultura, e assim, seu estresse hídrico. O período das simulações para o ciclo completo da cultura do milho foi dividido em períodos de cinco dias cada (quinqüídios), correspondentes às quatro fases do ciclo vegetativo da cultura considerado

no estudo (Inicial, crescimento, intermediária e final). O ISNA foi calculado pela expressão seguinte:

$$ISNA = \frac{ETR}{ET_c} \quad (25)$$

em que, ETR é a evapotranspiração real e ET_c é a evapotranspiração da cultura, determinada a partir do produto entre evapotranspiração de referência (ET_0) e o coeficiente de cultura (K_c), que corresponde ao total das necessidades de água da cultura (ALLEN *et al.*, 1998).

Conforme Bergamaschi *et al.* (2006) o deficit hídrico tem maior impacto sobre o rendimento de grãos do milho quando ocorre na fase de florescimento. Portanto, mesmo em anos climaticamente favoráveis pode-se observar a redução de rendimento, caso o deficit hídrico ocorra no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos. Durante o ciclo vegetativo, o deficit hídrico reduz o crescimento do milho em função de decréscimos da área foliar e da biomassa, embora nesse período ainda não estejam sendo formados os componentes do rendimento (BERGAMASCHI *et al.*, 2004).

Morizet e Togola, (1984) citam que se o deficit hídrico ocorrer no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início do enchimento de grãos, a recuperação da capacidade produtiva da cultura não poderá ocorrer de forma satisfatória, considerando que os eventos reprodutivos são muito mais rápidos do que os verificados durante o crescimento vegetativo. Nesta fase fenológica, o milho é extremamente sensível ao deficit hídrico, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (SCHUSSLER e WESTGATE, 1991; ZINSELMEIER *et al.*, 1995), além da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar e da elevada carga energética proveniente da radiação solar.

Bergamaschi *et al.* (2004), afirmam que o adequado suprimento hídrico, próximo ao pendoamento-espigamento do milho é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Simulação dos rendimentos do milho

Para cada data de plantio e província a produtividade final de grãos foi padronizada. Foi considerado ano normal em termos de rendimento agrícola do milho aquele em que o rendimento padronizado (RP) foi entre $\pm 0,5$, o ano foi considerado acima do normal quando o RP foi superior a $0,5$ e abaixo do normal quando o RP foi inferior a $-0,5$. Assim, foram apresentados os resultados das simulações dos rendimentos do milho, das quatro estações representativas de três províncias que constituem a região de estudo.

Os rendimentos do milho na estação representativa do grupo G1, região da província de Inhambane, são apresentados na Figura 21 para as três datas de plantio (precoce, normal e tardio).

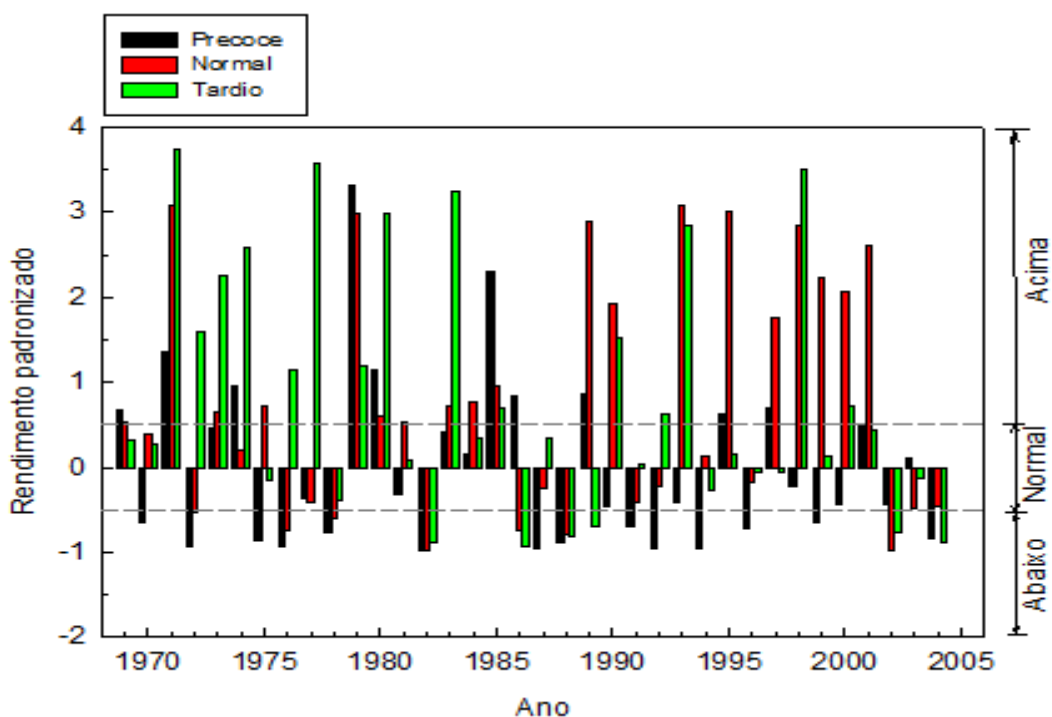


Figura 21: Rendimentos do milho apresentados na forma padronizada na estação representativa de Inhambane.

Na primeira data de plantio (15 de outubro - precoce) observaram-se em 14 anos de produtividade abaixo do rendimento normal. O intervalo do desvio foi entre $(-0,65$ e $-0,98)$, cujo menor rendimento padronizado foi observado no ano de 1970. O rendimento acima do

normal no mesmo período, foi observado em 11 anos com intervalo do RP entre (0,52 e 3,32), cujo maior rendimento foi observado no ano de 1979. Os demais 10 anos da série estudada foram próximos ao rendimento normal ($\pm 0,5$).

Na segunda data de plantio (15 de novembro - normal) observaram-se 7 anos de produtividade abaixo do rendimento normal. O rendimento pradonizado observado nestes anos esteve no intervalo entre (-0,53 e -0,98), em que o menor rendimento ocorreu no ano de 1972. O rendimento acima do normal para o mesmo período foi observado em maior número de anos da série (19 anos), em que o intervalo do RP esteve entre (0,54 e 3,1), cujos maiores rendimentos foram observados nos anos de 1973 e 1993. Os demais 10 anos da série tiveram rendimento em torno da normal.

Para a última data de plantio (15 de dezembro - tardio) o rendimento abaixo do normal foi observado em número menor de anos (6 anos) em relação as demais datas de plantio, contudo, a segunda data de plantio apresentou maior número de anos com produtividade acima do rendimento normal em relação a última data (15 anos). Em anos com RP abaixo do normal foi observado o menor rendimento em 1989. O intervalo do desvio da produtividade nestes anos foi entre (-0,7 e -0,93). Os anos com rendimento acima do normal foram 15 anos, em que o intervalo do desvio esteve em torno de (0,62 e 3,73), cujos maiores rendimentos ocorreram em 1971 e 1977. Os demais 16 anos estiveram próximos do rendimento normal. Vale acrescentar que nesta estação, todas as datas de plantio apresentaram-se no padrão ideal em termos de anos de sucesso na produtividade (inferior e/ou superior a 10).

Independente do sinal da ODP na estação de Inhambane, o plantio em novembro, mostrou maior número de anos com rendimento normal ou acima do normal em relação às demais épocas de plantio, seguida do plantio em dezembro, como na tendência geral da série. O plantio em outubro apresentou o menor número de anos com rendimento normal ou acima do normal. O rendimento abaixo do normal mostrou maior número de anos (superior a 10¹¹), ao longo do plantio de outubro enquanto as demais épocas apresentaram menor número de anos. Contudo, para esta estação, considerando o número de anos com probabilidades de sucesso, recomenda-se o plantio nas três datas (outubro, novembro e dezembro), para

¹¹ Rendimento abaixo do normal com o número de anos superior a 10, a probabilidade de reduzir o rendimento é extrema, o ideal para esta categoria é o número de anos inferior a 10, ou seja, quanto menor for melhor é.

rendimento normal ou acima do normal. Para maior número de anos com sucesso em rendimento abaixo do normal, recomenda-se o plantio em novembro e dezembro.

Para as três épocas de plantio apenas os anos de 1982 e 1988 apresentaram simultaneamente rendimento abaixo do normal, enquanto acima do normal foram 1971, 1979/80 e 1985. A segunda e terceira época de plantio apresentou maior número de anos com rendimento acima do normal, enquanto a primeira época se destacou entre as demais. O pior rendimento entre as épocas de plantio foi observado em outubro e o melhor em novembro, com cinco anos apenas.

Como se pode observar na Figura 21, as simulações das três datas de plantio mostraram maior número e frequência de anos com produtividade acima do rendimento normal para o plantio nas épocas de novembro e dezembro, menor número de anos com produtividade abaixo do rendimento normal, sendo o padrão inverso no plantio em outubro. Apesar dos anos com produtividade abaixo do rendimento normal, serem em menor número na segunda e terceira época de plantio, o rendimento teve uma tendência próxima do normal, variando em torno de (-0,53 e -0,98), onde se observou coincidentemente os menores rendimentos no mesmo ano (1972). Na primeira época de plantio, a amplitude de variação do rendimento foi similar às outras duas. Contrariamente, os maiores rendimentos foram observados no ano de 1979 (3,32 - outubro) 1971 (3,1 e 3,7 - novembro). Portanto, de forma geral, para obter maiores rendimentos nesta região, indica-se a segunda data de plantio (15 de novembro – normal).

Quanto aos rendimentos do milho na estação representativa do grupo G2, região da província de Gaza, estão apresentados na Figura 22 para todas as datas de plantio.

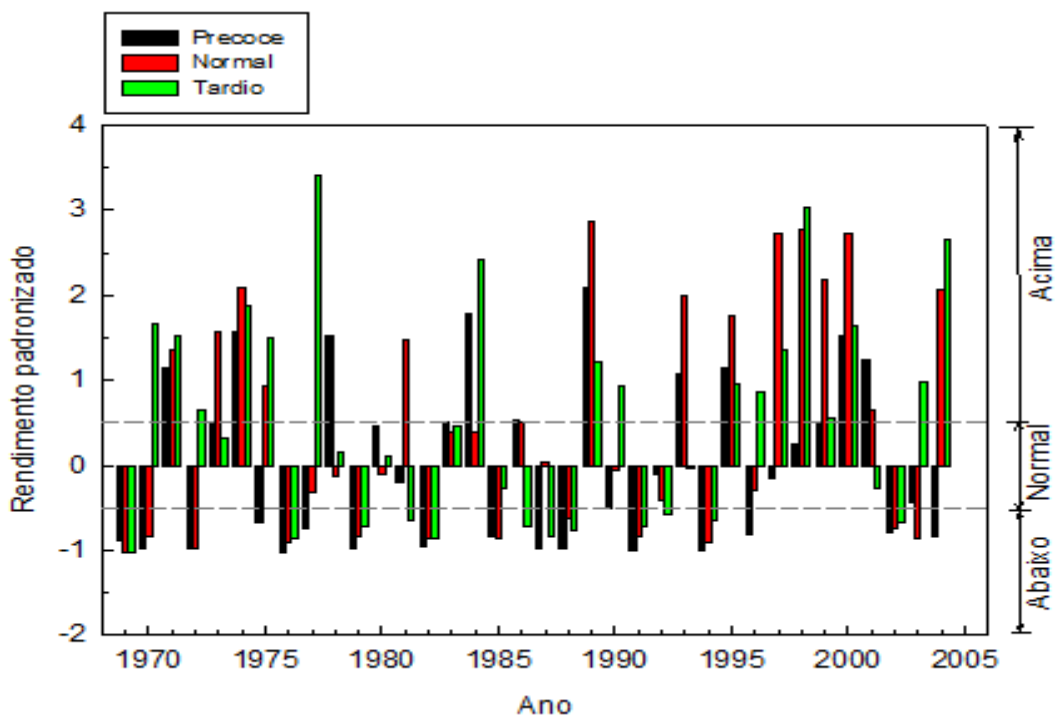


Figura 22: Rendimentos do milho apresentados na forma padronizada na estação representativa de Xai-xai.

Para esta estação, na primeira data de plantio (15 de outubro - precoce) observaram-se em 16 anos de rendimento abaixo do rendimento normal. O intervalo do desvio foi em torno de (-0,74 e -1,02), cujo menor rendimento foi observado no ano de 1977. O rendimento acima do normal no mesmo período foi observado em 11 anos com intervalo do RP entre (1,08 e 2,09), cujo maior rendimento foi observado no ano de 1989. Os demais 9 anos da série foram próximos ao rendimento normal.

Durante a segunda data de plantio (15 de novembro - normal) observaram-se 12 anos de rendimento abaixo do normal. O RP observado nestes anos o intervalo do desvio esteve entre (-0,62 e -1,02), em que o menor rendimento ocorreu no ano de 1988. O rendimento acima do normal no mesmo período foi observado em 14 anos da série, em que o intervalo do desvio esteve entre (0,65 e 2,87), cujo maior rendimento foi observado no ano de 1989. Os demais 10 anos da série tiveram o rendimento em torno do normal.

Para a última data de plantio (15 de dezembro - tardio) o rendimento abaixo do normal observou-se em igual número de anos (12 anos), similar à primeira data. Desses anos com RP abaixo do normal foi observado o menor rendimento em 1992. O intervalo do desvio da produtividade nestes anos foi entre (-0,53 e -1,03). O rendimento acima do normal foi observado em 17 anos, em que o intervalo do desvio esteve em torno de (0,64 e 3,41), cujo

maior rendimento ocorreu em 1977. A segunda e terceira data apresentaram maiores números de anos com rendimento acima do normal em relação à primeira, respectivamente (17 e 14 anos). Vale acrescentar que nesta data, ocorreu o maior rendimento (dezembro), assim como maior número de anos de produtividade acima do rendimento normal. Os demais 7 anos estiveram próximos do rendimento normal.

Na estação de Xai-xai, o plantio em novembro seguido do plantio em dezembro mostrou maior número de anos com rendimento normal ou acima do normal em relação à primeira época de plantio. A diferença de anos com rendimento normal ou acima do normal, para o plantio em outubro e novembro não foi muito significativa. Porém, o número desses anos (inferior a 10¹²) foi observado em outubro, para o rendimento normal ou acima do normal e em dezembro para o rendimento normal. O rendimento abaixo do normal mostrou maior número de anos (superior a 10), ao longo de todas as épocas de plantio. Assim, para esta estação, tomando em conta o mesmo critério do número de anos com probabilidades de sucesso, apenas recomenda-se o plantio em novembro e dezembro, para rendimento normal ou acima do normal. Enquanto para o rendimento abaixo do normal, todas as épocas de plantio são de risco.

Nas três épocas de plantio os anos de 1969, 1976, 1979, 1982, 1988, 1991, 1994 e 2002 apresentaram simultaneamente rendimento abaixo do normal, enquanto os de rendimento acima do normal foram 1971, 1974, 1989, 1995 e 2000. Os piores (melhores) rendimentos foram observados em três anos em todas as épocas de plantio (rendimento abaixo do normal e acima do normal, respectivamente).

Da Figura 22 observou-se que das simulações das três datas de plantio, resultou em maior número e frequência de anos com produtividade acima do rendimento normal para o plantio nas épocas de novembro e dezembro, igual número de anos com produtividade abaixo do rendimento normal (novembro) e menor número de anos (dezembro), sendo o padrão inverso no plantio em outubro. O número de anos com produtividade abaixo do rendimento normal foi maior na primeira e segunda época de plantio, onde o intervalo variou em torno de (-0,62 e -1,02), em que os menores rendimentos foram observados nos anos 1977 (-0,74 –

¹² Rendimento acima do normal ou normal com o número de anos inferior a 10, a probabilidade de reduzir o rendimento é maior, o ideal para estas categorias é o número de anos igual ou superior a 10, isto é, quanto maior for melhor é.

outubro) e 1988 (-0,62 – novembro). Contrariamente, o intervalo dos maiores rendimentos variou em torno de (0,64 e 3,41) e estes foram observados nos anos de 1977 (3,41 - dezembro) e 1989 (2,87 - novembro). Portanto, de forma geral, para obter maiores rendimentos nesta região, indicam-se a segunda e terceira data de plantio (15 de novembro e 15 de dezembro - normal e tardia, respectivamente).

A Figura 23 apresenta para todas as datas de plantio, os rendimentos do milho na estação do grupo G3, região da província de Maputo.

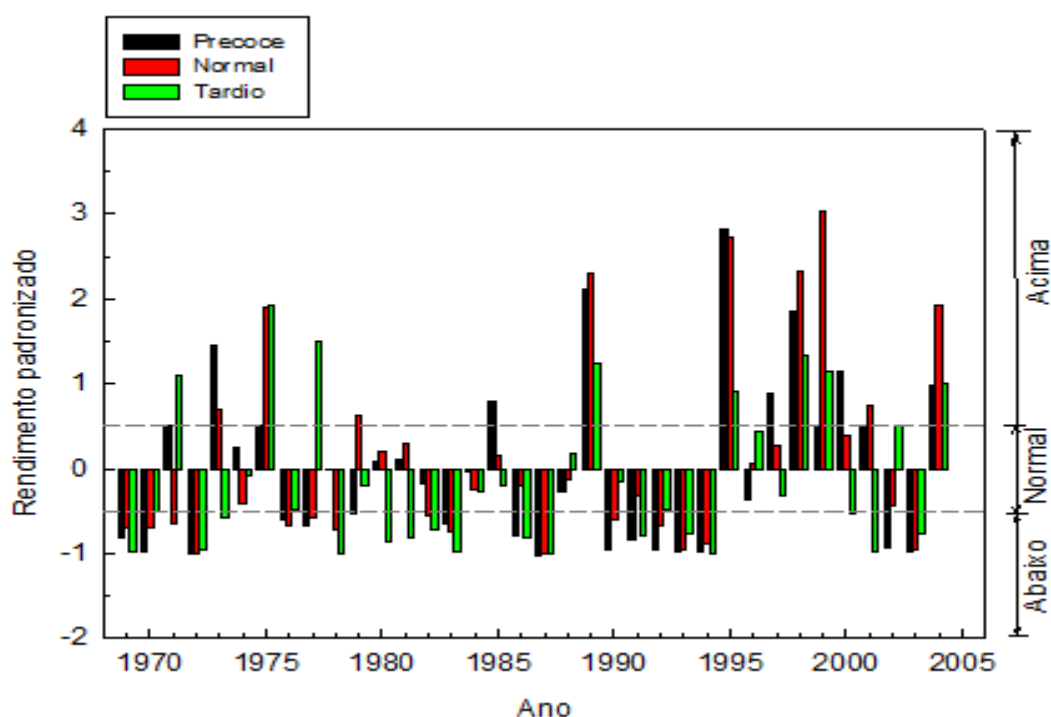


Figura 23: Rendimentos do milho apresentados na forma padronizada na estação representativa de Changalane.

Ao longo da primeira data de plantio (15 de outubro - precoce) o rendimento abaixo do normal observou-se em 16 anos. O intervalo do desvio foi em torno de (-0,61 e -1,02), cujo menor rendimento foi observado no ano de 1976. O rendimento acima do normal nesta data, foi observado em 11 anos com intervalo do desvio entre (0,50 e 2,82), cujo maior rendimento foi observado no ano de 1995. Os demais 9 anos da série foram próximos ao rendimento normal.

Durante a segunda data de plantio (15 de novembro - normal) observaram-se 15 anos de produtividade abaixo do rendimento normal. O intervalo do desvio observado nestes anos

esteve entre (-0,55 e -1,01), em que o menor rendimento ocorreu no ano de 1982. O rendimento acima do normal na mesma data foi observado em 9 anos da série, em que o intervalo do desvio esteve entre (0,62 e 3,03), cujo maior rendimento foi observado no ano de 1999. Os demais 12 anos da série tiveram o rendimento próximo do normal.

Na última data de plantio (15 de dezembro - tardio) observou-se o rendimento abaixo do normal em maior número de anos (17 anos). Desses observou-se o menor rendimento em 2000, cujo desvio da produtividade foi entre (-0,52 e -1,01). O rendimento acima do normal foi observado em 9 anos, em que o intervalo do desvio esteve em torno de (0,91 e 1,95), cujo maior rendimento ocorreu em 1975. Os demais 10 anos estiveram próximos ao rendimento normal. Contudo, a segunda e terceira data de plantio apresentaram igual número de anos com rendimento acima do normal em relação à primeira data (9 anos). Vale acrescentar que nesta estação ocorreu o maior número de anos com rendimento abaixo do normal, ao longo de todas as datas, respectivamente (16, 15 e 17 anos).

O plantio na estação de Changalane mostrou maior número de anos com rendimento acima do normal no padrão ideal apenas no plantio em outubro, distinguindo-se em relação às demais épocas. Os plantios em novembro e dezembro apresentaram o mesmo número de anos com rendimento acima do normal mais inferior ao padrão ideal (inferior a 10 anos), enquanto o rendimento normal apresentou o número de anos dentro do padrão ideal em todas as épocas. O rendimento abaixo do normal apresentou maior número de anos superior ao padrão ideal (superior a 10 anos), ao longo de todos os plantios.

No entanto, considerando o número de anos com probabilidades de sucesso, recomenda-se muito mais o plantio em outubro seguido de novembro e dezembro, para rendimentos acima do normal, enquanto para o rendimento normal recomenda-se as três épocas de plantio. Para o rendimento abaixo do normal, o número de anos é maior e superior ao padrão ideal (superior a 10), o que torna o plantio de risco nas três épocas, porém, pode-se considerar uma exceção para a primeira época.

Os resultados apresentados na Figura 23 de simulações das três datas de plantio mostraram maior número e frequência de anos com produtividade acima do rendimento normal para os plantios em outubro e novembro com igual número de anos, enquanto o padrão inverso foi observado em dezembro. Maior número de anos com produtividade abaixo

do rendimento normal foi observado em todas as épocas. O intervalo de variação dessa produtividade foi em torno de (-0,52 e -1,02), onde os menores rendimentos foram observados nos anos 1976 (-0,61 – outubro), 1982 (-0,55 – novembro) e 2000 (-0,52 – dezembro). Ao contrário, o intervalo de maiores rendimentos variou entre (0,50 e 3,03) em que foram observados nos anos de 1975 (1,95 - dezembro), 1995 (2,82 – outubro) e 1999 (3,03 - novembro). De uma forma geral, para obter maiores rendimentos nesta região, indicam-se a primeira e segunda data de plantio (15 de outubro e 15 de novembro – precoce e normal, respectivamente).

2.4.2 Combinação dos MVC para a definição do calendário agrícola

Para a definição do calendário agrícola na estação de Inhambane, foram realizadas as combinações das fases da ODP (fria e quente), onde no plantio em outubro não resultou em diferenças significativas do número de anos com rendimentos norml ou acima do normal, sendo esse resultado observado em torno da metade dos anos de cada fase (Tabela 18). Contudo, o plantio em outubro teve menor número de anos (vide Figura 21 e Tabela 18). Porém, o rendimento acima do normal na ODP fria foi superior a 50% em todas as épocas, enquanto na ODP quente observou-se maior número de anos com o mesmo rendimento. No plantio em dezembro o padrão foi contrário, sendo observado maior (menor) número de anos com rendimento acima do normal durante a ODP fria (quente). Apenas ao longo do plantio de dezembro o rendimento foi superior a 50%.

O rendimento abaixo do normal ocorreu com maior frequência na primeira época de plantio independente do sinal da ODP. Nas duas outras épocas de plantio, não se observaram diferenças do número de anos com rendimento abaixo do normal na ODP quente, sendo esse resultado observado em inferior percentagem de anos em ambas as épocas de plantio. Na ODP fria, observou-se maior número de anos com rendimento abaixo do normal para a segunda época de plantio, relativamente ao plantio de dezembro.

Durante o DOI negativo (Tabela 18), todas as épocas de plantio apresentaram rendimento normal ou acima do normal em metade ou mais dos anos avaliados (superior a 50%) e abaixo do normal nos plantios em outubro e dezembro, com o percentual inferior a 50%. O plantio em novembro apresentou um percentual nulo do rendimento abaixo do normal, ou seja, o plantio em novembro foi normal ou acima do normal em todos os anos com

DOI negativo. Nos anos classificados como DOI positivo, o número de anos com rendimento acima (abaixo) do normal foi inferior (superior) ao observado na fase negativa, destacando-se negativamente os plantios em outubro (rendimento acima e abaixo do normal) e novembro (rendimento abaixo do normal). Para o plantio em dezembro, o número de anos acima (abaixo) do normal apresentou diferenças inferiores em relação ao observado no DOI negativo, com rendimento acima (abaixo) do normal. Nos anos de DOI neutro, o plantio em novembro e dezembro teve padrão similar ao observado no DOI negativo para os anos acima do normal, em torno da metade dos anos com rendimento positivo (superior a 50%). Contudo, o plantio em outubro teve resultados percentuais próximos aos da fase negativa no rendimento acima e abaixo do normal.

Apenas um ano do DOI negativo foi coincidente com o ENOS fase quente ou El Niño em todas as estações representativas (Vide Tabelas 14, 15, 16 e 17, Cap.1), os demais foram classificados como ENOS fase fria ou La Niña e ENOS fase neutro. Assim, os resultados acima descritos são válidos para a combinação do DOI negativo com ENOS fase fria ou neutra. Nessas condições, recomenda-se a data de plantio em novembro. Em todos os anos do DOI positivo observaram-se El Niño, ou seja, combinação DOI positivo e ENOS fase quente, a época de plantio indicada é em dezembro.

Na fase neutra do DOI ocorreram as três fases do ENOS (El Niño, Neutra e La Niña) (Vide Tabela 14, Cap.1). Na combinação do DOI neutro e ENOS quente ou neutro, em todas as épocas de plantio, os rendimentos normal ou acima do normal foram superiores a 50% dos anos avaliados. A combinação DOI neutro e ENOS neutro, mostrou maiores valores percentuais de rendimentos no plantio de dezembro e iguais percentuais no plantio de outubro. Para o DOI neutro e ENOS fase fria também em todas as épocas de plantio, os rendimentos foram normal ou acima do normal em mais da metade dos anos. Para o DOI neutro e ENOS fase neutra, o resultado foi análogo em termos do valor percentual, apenas na primeira época e ao do DOI neutro e ENOS fase quente, em termos de maior número de anos com rendimento normal ou acima do normal para o plantio em novembro (superior a 50%) e dezembro onde o percentual foi máximo, ou seja, no plantio em dezembro não ocorreu rendimento abaixo do normal.

Para as três épocas de plantio o rendimento acima do normal, observou-se na sua maioria em anos relacionados com ENOS fase fria, sobremaneira durante a época normal

(novembro) combinado com DOI negativo ou neutro. Igual período de anos de La Niña, El Niño e neutro, se observaram nas épocas precoce e normal (outubro e novembro), com a exceção do ENOS fase neutra, em que se observou seu maior período na época precoce.

Em termos do período mais apropriado para o plantio nesta região da província de Inhambane, seria opcional que se realizasse ao longo dos meses de novembro e dezembro, pois os maiores rendimentos foram observados nestas épocas e, além disso, o ENOS fase fria, geralmente coincide com a época chuvosa (outubro a março). Quanto ao ENOS fase quente, frequentemente coincide com o fim do período chuvoso e início do período seco (abril a setembro) e, é uma das razões que em muitas áreas do interior, poucas vezes são realizados plantios da segunda época agrícola.

Tabela 18: Definição do calendário de plantio, obtido a partir das combinações dos MVCs em função dos índices de RP, na estação de Inhambane.

MDV	RENDIMENTO PADRONIZADO SIMULADO (%)							DATA DE PLANTIO RECOMENDADA		
	Abaixo do Normal				Acima do Normal			Out	Nov	Dez
	Data	Out	Nov	Dez	Out	Nov	Dez			
ODP	Quente	28,6	14,3	14,3	50,0	50,0	60,7	não	não	Sim
	Fria	40,0	20,0	13,3	60,0	80,0	86,7	não	sim	+sim ¹³
DOI	Positivo	57,1	28,6	14,3	42,9	71,4	85,7	não	sim (*) ¹⁴	+sim (**) ¹⁵
	Neutro	33,3	26,7	13,3	66,7	73,3	86,7	não	sim (*)	+sim (**)
	Negativo	37,5	0,0	12,5	62,5	100,0	87,5	não	+sim (*)	sim (**)
ENOS	El Niño	43,8	31,3	25,0	56,3	68,8	75,0	não	não	+sim (**)
	Neutro	33,3	11,1	0,0	66,7	88,9	100,0	não	sim (*)	+sim (**)
	La Niña	36,4	9,1	18,2	63,6	90,9	81,8	não	+sim (*)	sim (**)

Na estação representativa da província de Gaza, a combinação entre as fases da ODP (fria e quente) no plantio em outubro não resultou em diferenças significativas em termos de

¹³ (+sim) a data de plantio mais recomendada;

¹⁴ (*) combinado com a ODP Fria;

¹⁵ (**) combinado com a ODP Quente.

menor (maior) número de anos com rendimento normal ou acima do normal, sendo esse resultado observado em torno da metade dos anos de cada fase, onde o valor percentual do rendimento foi superior a 50% e também foi análogo para o plantio em novembro e dezembro (Tabela 19). Contudo, o plantio em outubro teve menor número de anos em relação ao de novembro seguido de dezembro (vide Figura 22 e Tabela 19), Porém o rendimento acima do normal na ODP fria foi superior a 50% em todas as épocas, mas baixo em relação ao da ODP quente, com a exceção do plantio em dezembro em que o percentual do rendimento foi mais elevado. Apenas no plantio em novembro foi observado maior (menor) número de anos com rendimento normal ou acima do normal durante a ODP fria (quente).

Quanto ao rendimento abaixo do normal, ocorreu com maior frequência na primeira época de plantio independente do sinal da ODP. Nas duas outras épocas de plantio, observou-se igual número de anos com rendimento abaixo do normal na ODP quente. Na ODP fria observou-se maior número de anos com rendimento abaixo do normal para a primeira e segunda época de plantio, relativamente ao plantio de dezembro.

Ao longo do DOI negativo, todas as épocas de plantio apresentaram rendimento normal ou acima do normal em maior número de anos avaliados durante o plantio em novembro, seguido de outubro e dezembro que apresentaram igual número, o percentual do rendimento em ambas as épocas foram superiores a 50%, destacando-se a época de plantio em novembro que apresentou o maior percentual. O rendimento abaixo do normal não ocorreu no plantio em novembro, ou seja, para esta época apenas ocorreram rendimentos normal ou acima do normal, enquanto para as restantes ocorreu e em percentual inferior a 50%. O plantio em novembro foi normal ou acima do normal em todos os anos com DOI negativo.

Durante o DOI positivo, o número de anos com rendimento acima (abaixo) do normal foi inferior (superior) ao observado na fase negativa, destacando-se negativamente o plantio em outubro (rendimento normal ou acima, inferior a 50% e abaixo do normal superior a 50%). Para o plantio em dezembro, o número de anos acima (abaixo) do normal apresentou diferenças mínimas em relação ao observado no DOI negativo, porém com maior número de anos com rendimento acima do normal.

Nos anos de DOI neutro, o plantio em novembro e dezembro teve um padrão similar ao observado no DOI negativo para os anos de rendimento normal ou acima do normal, em

torno da metade dos anos com rendimento positivo. Contudo, os plantios em novembro e dezembro tiveram valores percentuais mais próximos aos da fase positiva para o rendimento normal ou acima do normal. No entanto, os resultados acima descritos são válidos para a combinação do DOI negativo com ENOS fase fria ou neutra. Nessas condições, recomenda-se a época de plantio em novembro. Em casos de uma combinação do DOI positivo e ENOS fase quente, a época indicada é em dezembro.

Na fase neutra do DOI ocorreram as três fases do ENOS (El Niño, Neutra e La Niña) (Vide Tabela 17, Cap.1). Na combinação DOI neutro e ENOS fase quente ou neutro, em todas as épocas de plantio os rendimentos acima do normal foram superiores a 50% dos anos avaliados. A combinação DOI neutro e ENOS neutro mostrou menor (maior) valor percentual no plantio em novembro para os rendimentos abaixo e acima do normal.

Para o DOI neutro e ENOS fase fria, em todas as épocas de plantio os rendimentos foram normal ou acima do normal em mais da metade dos anos. Durante o plantio em outubro ocorreu coincidência do valor percentual, enquanto em dezembro ocorreu o valor máximo (nulo) do percentual de anos com rendimento acima (abaixo) do normal. Para o DOI neutro e ENOS fase neutra, a diferença na primeira e terceira época foi mínima em termos percentuais, assim como em termos de maior número de anos com rendimento normal ou acima do normal, enquanto para o plantio em novembro a diferença foi significativa e o percentual foi máximo.

Nas três épocas de plantio os anos em que se observaram rendimentos acima do normal, sua maioria esteve relacionado com ENOS fase fria, durante a época normal e tardia (novembro e dezembro) combinado com DOI negativo ou neutro. Nas mesmas épocas observou-se maior período de anos relacionados com ENOS fase quente e neutra combinada com DOI positivo e neutro, com a exceção do ENOS fase neutra em que se observou igual período em todas as épocas. No entanto, as épocas mais adequadas para o plantio nesta região da província de Gaza, recomenda-se que seja realizado nos meses de novembro e/ou dezembro (época normal ou tardia), onde se espera maior sucesso de rendimento normal ou acima do normal ou ainda apenas em dezembro, no caso de anos com previsão de rendimento abaixo do normal.

Tabela 19: Definição do calendário de plantio, obtido a partir das combinações dos MVCs em função dos índices de RP, na estação de Xai-xai.

MDV	RENDIMENTO PADRONIZADO SIMULADO (%)							DATA DE PLANTIO RECOMENDADA		
	Abaixo do Normal				Acima do Normal			Out	Nov	Dez
	Data	Out	Nov	Dez	Out	Nov	Dez			
ODP	Quente	28,6	14,3	14,3	71,4	85,7	85,7	não	sim	Sim
	Fria	40,0	20,0	13,3	60,0	80,0	86,7	não	sim	Sim
DOI	Positivo	57,1	28,6	14,3	42,9	71,4	85,7	não	sim (*)	+sim (**)
	Neutro	33,3	26,7	13,3	66,7	73,3	86,7	não	sim (*)	+sim (**)
	Negativo	37,5	0,0	12,5	62,5	100,0	87,5	não	+sim (*)	sim (**)
ENOS	El Niño	43,8	31,3	25,0	56,3	68,8	75,0	não	sim (*)	+sim (**)
	Neutro	36,4	9,1	18,2	63,6	90,9	81,8	não	sim (*)	+sim (**)
	La Niña	33,3	11,1	0,0	66,7	88,9	100,0	não	+sim (*)	sim (**)

A definição do calendário agrícola na estação representativa da província de Maputo foi análoga com a realizada nas estações de Inhambane e Xai-xai. Das combinações entre as fases da ODP (fria e quente) em todas as épocas de plantio, resultou em diferenças pouco significativas em termos de número de anos com rendimento normal ou acima do normal, sendo esse resultado observado em torno da metade dos anos para a ODP fria, onde o percentual do rendimento foi superior a 50% para ambas as épocas (Tabela 20). O plantio em outubro teve menor número de anos em relação ao de novembro seguido de dezembro (vide Figura 23 e Tabela 20), Porém, o valor percentual do rendimento acima do normal durante a ODP fria foi superior a 50% em todas as épocas, mas baixo em relação ao da ODP quente, com a exceção do plantio em dezembro em que o percentual foi mais alto. Ocorreu igual valor percentual do rendimento ao longo da ODP quente, nos plantios em novembro e dezembro.

O rendimento abaixo do normal ocorreu com maior frequência na primeira época de plantio independente do sinal da ODP. As duas outras épocas apresentaram igual valor percentual de anos com rendimento abaixo do normal durante a ODP quente. Na ODP fria, observou-se maior número de anos com rendimento abaixo do normal apenas para a primeira época de plantio, relativamente ao plantio em novembro e dezembro. Na ODP quente ocorreu um padrão análogo ao da ODP fria e igual número de anos na segunda e terceira época.

Ao longo do DOI negativo, todas as épocas de plantio apresentaram rendimento normal ou acima do normal em maior número de anos avaliados durante o plantio em novembro, seguido de outubro e dezembro que apresentaram igual número, o percentual do rendimento em ambas as épocas foram superiores a 50%, destacando-se a época de plantio em novembro que apresentou o máximo percentual. Nesta época não ocorreram rendimentos abaixo do normal, ou seja, para esta época apenas ocorreram rendimentos normal ou acima do normal, enquanto para o plantio em outubro ocorreu um percentual próximo a 50%. Assim, o plantio em novembro foi normal ou acima do normal e elevado em todos os anos combinados ao DOI negativo.

Ao longo do DOI positivo, o número de anos com rendimento acima (abaixo) do normal foi inferior (superior) ao observado na fase negativa, destacando-se negativamente o plantio em outubro (rendimento normal ou acima, inferior a 50% e abaixo do normal, superior a 50%). Para o plantio em dezembro, o número de anos acima (abaixo) do normal apresentou diferenças mínimas em relação ao observado no DOI negativo, contrariamente ao observado no plantio em novembro, em que apresentou maior número de anos com rendimento acima do normal.

Nos anos de DOI neutro, o plantio em novembro e dezembro teve um padrão similar ao observado no DOI positivo para os anos de rendimento normal ou acima do normal, em torno da metade dos anos com rendimento positivo. Contudo, os plantios em novembro e dezembro tiveram valores percentuais mais próximos aos do DOI positivo para o rendimento acima do normal. No entanto, os resultados acima descritos são válidos para as combinações do DOI negativo com ENOS fase fria ou neutra. Portanto, nessas condições recomenda-se a época de plantio em outubro e novembro. Porém, abre-se uma exceção de plantio em novembro e dezembro, em casos de combinações da ODP fria (quente) com DOI negativo (positivo) e ENOS fase fria, neutra ou quente.

Na fase neutra do DOI ocorreram as três fases do ENOS (El Niño, neutra e La Niña) (Vide Tabela 16, Cap.1). Na combinação DOI neutro e ENOS fase quente ou neutro, em todas as épocas de plantio os valores percentuais de rendimentos acima do normal foram superiores a 50% dos anos avaliados, onde os percentuais do DOI neutro foram superiores em relação aos observados no ENOS fase quente. A combinação DOI neutro e ENOS neutro mostrou

menor (maior) percentual no plantio de dezembro para os rendimentos abaixo (acima) do normal, onde no ENOS neutro ocorreu o máximo percentual.

Para o DOI neutro e ENOS fase fria, em todas as épocas de plantio os rendimentos foram normal ou acima do normal em mais da metade dos anos. A maior parte dos anos com estes rendimentos ocorreu no plantio em outubro e novembro. Durante o plantio em novembro ocorreu o mínimo (máximo) valor percentual do rendimento abaixo (acima) do normal (ENOS fase fria). Para o DOI neutro e ENOS fase neutra, a diferença na primeira e terceira época foi mais significativa em termos percentuais, assim como em termos de maior número de anos com rendimento normal ou acima do normal, destacando-se positivamente os anos de ENOS fase fria, que apresentaram maiores valores percentuais relativamente aos do DOI neutro. Contudo, ocorreu uma coincidência do valor percentual no plantio em outubro (DOI neutro e ENOS fase neutra) para o rendimento acima (abaixo) do normal, enquanto no plantio em dezembro o percentual foi máximo.

Nas três épocas de plantio os anos em que se observaram rendimento normal ou acima do normal, também sua maioria esteve relacionado com ENOS fase fria, durante a época precoce e normal (outubro e novembro) combinado com DOI negativo ou neutro. Nas mesmas épocas observou-se menor período de anos relacionados com ENOS fase quente e neutra combinada com DOI positivo e neutro, com a exceção do ENOS fase neutra em que se observou maior período apenas em outubro. No entanto, as épocas mais adequadas para o plantio nesta região da província de Maputo, são recomendadas que fossem realizados nos meses de outubro e novembro, onde se espera maior sucesso de rendimentos normal ou acima do normal ou ainda em dezembro, no caso de anos com previsão de rendimento abaixo do normal, se combinados com a ODP quente e ENOS quente ou neutro.

Tabela 20: Definição do calendário de plantio, obtido a partir das combinações dos MVCs em função dos índices de RP, na estação de Changanane.

MDV	RENDIMENTO PADRONIZADO SIMULADO (%)							DATA DE PLANTIO RECOMENDADA		
	Abaixo do Normal				Acima do Normal			Out	Nov	Dez
	Data	Out	Nov	Dez	Out	Nov	Dez	Out	Nov	Dez
ODP	Quente	28,6	14,3	14,3	71,4	85,7	85,7	não	sim	+sim
	Fria	40,0	20,0	13,3	60,0	80,0	86,7	não	sim	Sim
DOI	Positivo	57,1	28,6	14,3	42,9	71,4	85,7	não	sim (*)	+sim (**)
	Neutro	33,3	26,7	13,3	66,7	73,3	86,7	não	sim (*)	+sim (**)
	Negativo	37,5	0,0	12,5	62,5	100,0	85,7	não	+sim (*)	sim (**)
ENOS	El Niño	43,8	31,3	25,0	56,3	68,8	75,0	não	sim (*)	+sim (**)
	Neutro	33,3	11,1	0,0	66,7	88,9	100,0	não	sim (*)	+sim (**)
	La Niña	36,4	9,1	18,2	63,6	90,9	81,8	não	+sim (*)	sim (**)

2.4.3 Simulação do índice de satisfação das necessidades de água

Os resultados das simulações do ISNA e da precipitação foram avaliados considerando o sinal do ENOS, visto ser o modo de variabilidade climática de maior frequência dos avaliados no Cap. 1, seção 1.4.4. Para tal, foram agrupados os resultados por anos de El Niño, Neutro e La Niña, considerando cinco anos para cada sinal do ENOS e avaliado o ISNA para essas condições de cada província.

Os resultados apresentados na Figura 21 referem-se às simulações do ISNA e da precipitação em anos de El Niño, La Niña e neutros das três datas de plantio na província de Inhambane estação ID1. Considerando os dois componentes simulados, os resultados mostraram que para esta região são favoráveis os plantios em novembro e dezembro em anos de La Niña, El Niño e neutros.

Em anos de El Niño durante o plantio precoce, os valores do ISNA estiveram próximos (acima) do LMI com 0,54 e 0,53 ao longo do quarto e quinto quinquídio após plantio (4 - 5 QAP), onde o ISNA atingiu valor superior ao do LMI de 0,57 (3 QAP). Nos restantes quinquídios o ISNA esteve abaixo do LMI. Os valores da precipitação registrados foram inferiores a 30 mm por quinquídio no decorrer do ciclo.

No plantio normal e tardio, o ISNA esteve em todo ciclo abaixo do LMI e igualou-se ao LMI (1 - 3 QAP, plantio normal) e acima do LMI com 0,56 (4 QAP, plantio tardio). Caso análogo ocorreu com a precipitação, em que ela atingiu os 42 mm (intermediário, plantio normal) e o mesmo valor (crescimento e intermediário, plantio tardio). No entanto, mesmo com o aumento da precipitação nas últimas datas, esta quantidade não seria suficiente para suprir as necessidades da cultura, pois ela estaria em constante estresse principalmente, durante os estádios em que mais necessita de água. Este deficit foi observado ao longo das principais fases do ciclo da cultura (inicial, crescimento, intermediário e final). No caso do plantio em anos de El Niño principalmente, no plantio precoce provavelmente esperaria-se perda ou baixos rendimentos.

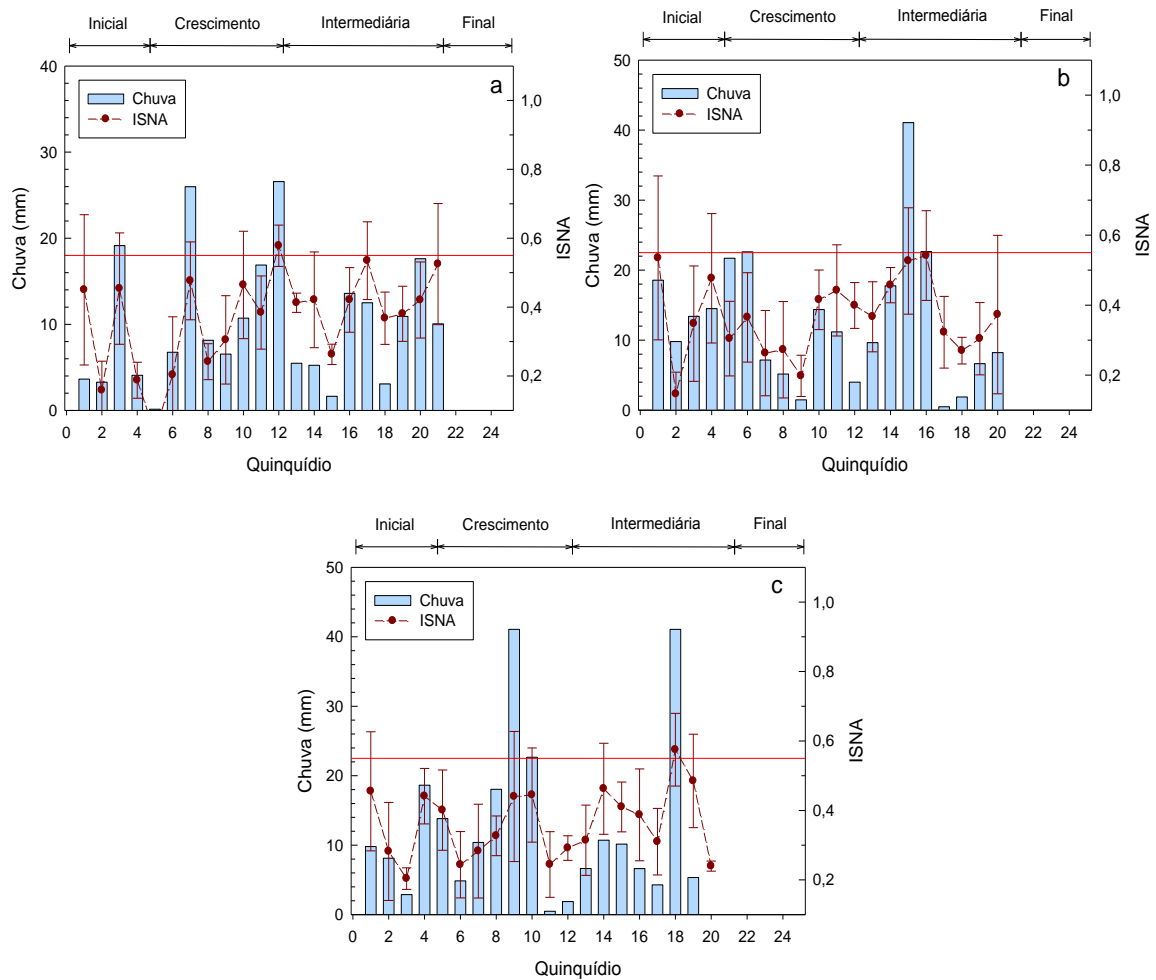


Figura 24: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de El Niño na estação de Inhambane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

Para os anos de La Niña, as simulações do ISNA e da precipitação são apresentados na Figura 24, onde o plantio precoce mostrou que o ISNA esteve abaixo do LMI em todo o ciclo da cultura com a exceção do 3 QAP, em que o ISNA esteve próximo (igual) ao LMI com os valores de 0,50 (2 QAP) e igual (3 QAP). Os valores da precipitação no mesmo período foram inferiores a 30 mm, onde se registrou 23 mm (crescimento), que diminuiu gradualmente até 12 mm, no final da fase intermediária. Este deficit foi observado ao longo das três principais fases do ciclo da cultura. A cultura estaria sujeita a condições de estresse em quase todo ciclo e, em caso do plantio nesta data, conseqüentemente esperaria-se com maior risco a perda ou baixos rendimentos.

Nos plantios normal e tardio, o padrão observado foi diferente ao do primeiro plantio, pois o valor do ISNA esteve abaixo (próximo) do LMI com 0,53 e 0,54 (1 QAP); acima do LMI com 0,78 (1 – 4 QAP, plantio normal) e 0,67 e 0,60 (3 – 4 QAP, plantio tardio). Quanto à precipitação durante as duas datas, observaram-se valores inferiores como o de 26 mm (inicial) e 42 mm (intermediária) no plantio normal, enquanto no plantio tardio observaram-se valores da precipitação entre 40 mm (crescimento) e 72 mm (intermediária). Nestas condições esses valores da precipitação podem favorecer, mas não o bastante para as necessidades da cultura. No caso do plantio nestas datas o estresse da cultura, seria observado ao longo das fases inicial, crescimento e intermediária, respectivamente.

Apesar de se ter observado maior período de anos com rendimento normal ou acima do normal, o plantio em outubro não seria optativo principalmente dependendo apenas da chuva, pois a cultura estaria sujeita ao estresse hídrico exatamente nas fases em que mais necessita de maior quantidade de água no solo (crescimento e intermediária), fases em que ocorrem os processos de florescimento e enchimento de grãos (BERGAMASCHI *et al.*, 2006; FATO, 2011).

O ideal seria aconselhável o plantio em novembro e dezembro, pois nestas datas se observaram valores próximos, iguais e superiores do ISNA e da precipitação, apesar de ter se registrado algumas fases em que a cultura experimentou estresse. Por um lado, os resultados observados provavelmente, contribuam para minimizar a perda ou baixo rendimento e por outro lado, também justifiquem a indicação adequada destas datas discutidas na seção 2.4.1, deste capítulo para o plantio da cultura em anos de La Niña.

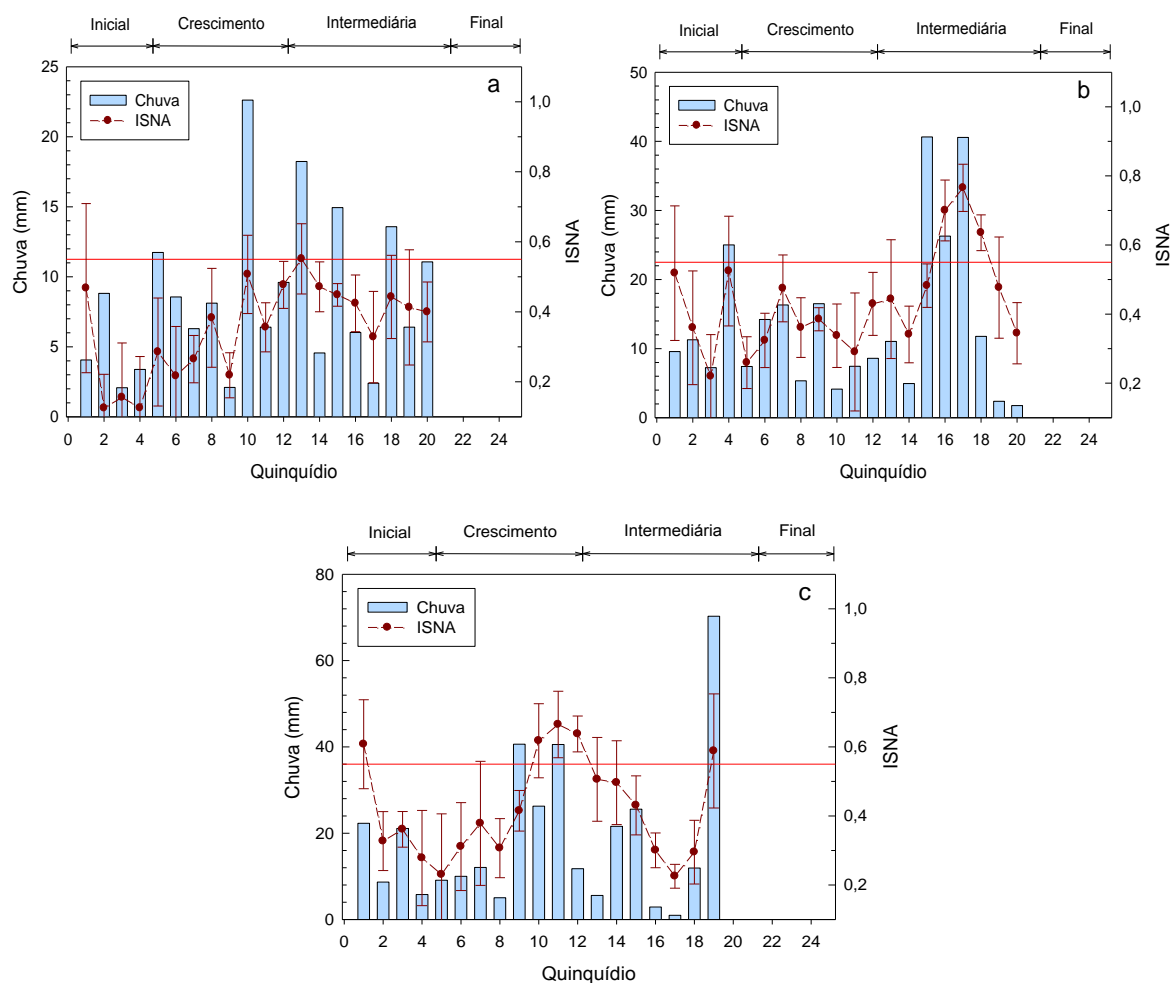


Figura 25: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de La Niña na estação de Inhambane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

As simulações do ISNA e da precipitação em anos de ENOS neutro são apresentados na Figura 25, onde ao longo dos três plantios foi observado que no plantio precoce, o ISNA esteve abaixo (próximo) do LMI em quase todo ciclo, com a exceção da fase intermediária em que esteve próximo com 0,53 e 0,54 (3 – 5 QAP), respectivamente, enquanto o ISNA esteve acima do LMI 0,56 (2 QAP). A precipitação acumulada no quinquídio variou tendo se registrado valores de 36 mm (intermediária) e 38 mm (final). Em caso do plantio nesta data, a cultura sofreria maior estresse apenas na primeira fase (fase de emergência) e nas subsequentes o ISNA estaria próximo ou acima do LMI. O plantio nesta data é menos aconselhável, pois a cultura nesta fase necessita de água no solo, conseqüentemente se espera maior perda ou baixos rendimentos.

No plantio normal observou-se um padrão diferente ao do primeiro plantio, pois o ISNA esteve abaixo (próximo) do LMI com 0,54; 0,52 e 0,53 (3, 4 – 5 QAP) respectivamente, enquanto esteve acima do LMI com 0,57 (1 - 3 QAP); 0,72 (1 – 4 QAP) e 0,68 (4 QAP) respectivamente. Apesar de se ter observado maior número de valores próximos e acima do LMI, a precipitação variou entre 26 mm (inicial); 28 mm (crescimento) e 72 mm (intermediária). O plantio nesta data é aconselhável, mesmo com essa variação da precipitação, pois a cultura experimentaria o estresse hídrico no final da fase inicial e princípio da fase de crescimento. Assim, nestas condições se esperam rendimento normal ou acima do normal.

Durante o plantio tardio observou-se que o ISNA esteve abaixo (próximo) do LMI, com 0,54; (3 QAP); 0,52 e 0,53 (4 QAP), enquanto esteve acima do LMI com 0,72 (3 QAP) e 0,62 (4 QAP). Os valores da precipitação variaram entre 36 mm (crescimento) a 50 mm (intermediária). Portanto, no caso do plantio nesta data a cultura passaria por estresse na fase inicial e de crescimento e, a quantidade da água disponível no solo poderia minimamente suprir o necessário para a cultura nessas fases. Assim, esta data é também aconselhável para o plantio em anos neutros, pois a cultura estaria sujeita ao menor estresse. Na última fase (final) necessariamente, a cultura não demanda maiores quantidades de água (enchimento de grãos).

As datas indicadas para o plantio em anos neutros nesta região seria o plantio em novembro (normal) e dezembro (tardio), apesar de o tardio ter mostrado maior variação do ISNA. Porém, estas opções devem ser tomadas de acordo com a localização espacial (litoral ou interior), onde ocorrem outros sistemas que condicionam a chuva, os quais podem contribuir para menor (maior) armazenamento da água no solo. Vale lembrar da seção 1.2 do Cap. 1, que o ambiente litoral desta região, em média duas ou três vezes ao ano, entre os meses (DJF) ocorrem os CT e as FFS durante o inverno. Estas frentes têm condicionado a existência da segunda época agrícola no litoral.

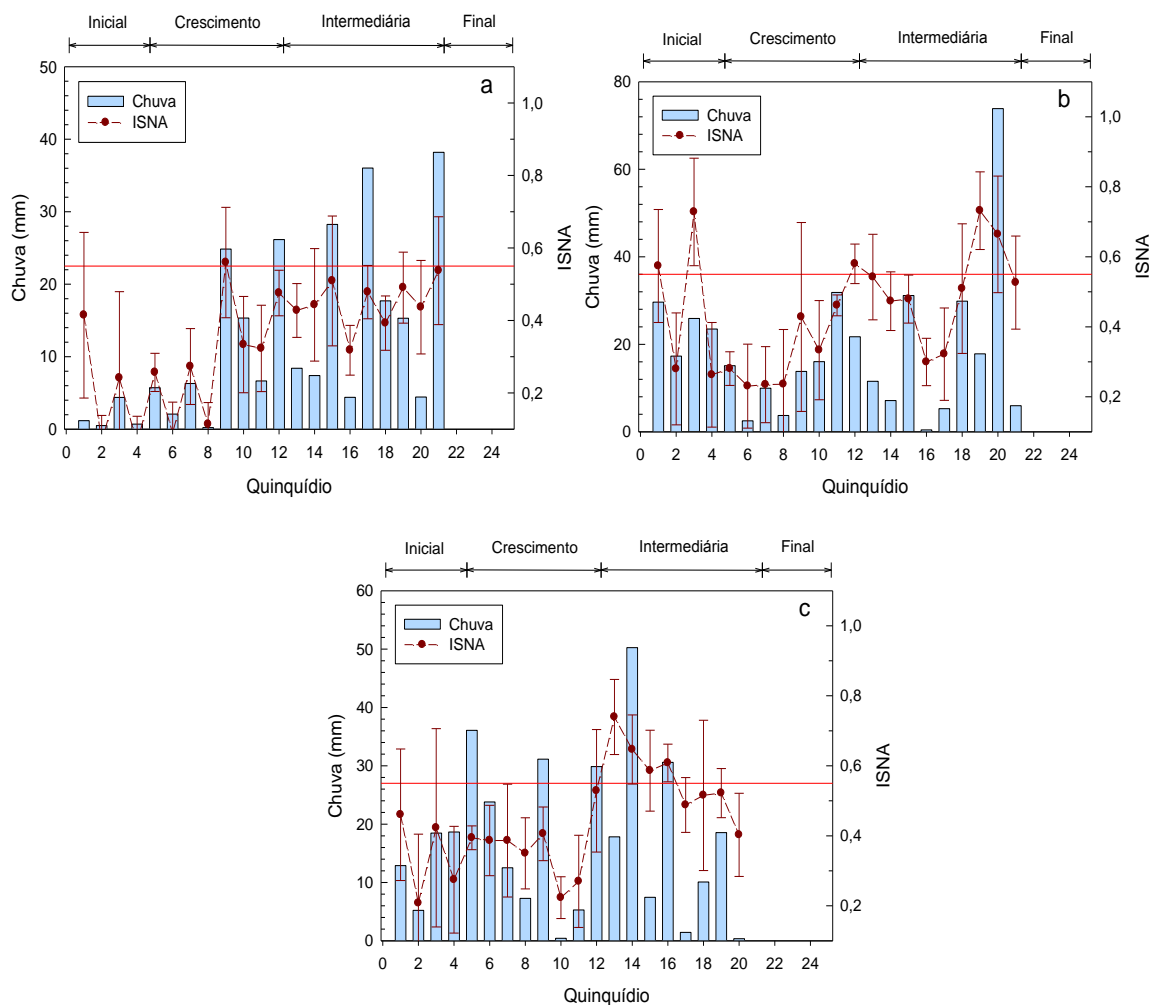


Figura 26: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos Neutros na estação de Inhambane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

Os resultados mostrados a seguir na Figura 25 são referentes às simulações do ISNA e da precipitação em anos de El Niño, La Niña e neutro das três datas de plantio na província de Gaza, estação ID7. Estes resultados mostraram que nesta região são favoráveis os plantios normal e tardio, em anos de La Niña e El Niño, enquanto em anos neutros são favoráveis os plantios precoce e normal.

Durante os anos de El Niño no plantio precoce, os valores do ISNA estiveram abaixo (próximo) do LMI ao longo de todo o ciclo da cultura, com as exceções do 1, 3 - 4 QAP. O ISNA esteve próximo (igual) ao LMI com 0,50 (1 - 4 QAP); igual (1 QAP) e atingiu valor superior ao do LMI de 0,60 (3 QAP). O ISNA esteve sempre abaixo do LMI em todos os quiquídios, exceto o 3 QAP em que observou-se valor acima do LMI. Os valores da precipitação também foram inferiores a 30 mm, onde se registrou 26 mm (inicial); 23 mm (crescimento) e 25 mm (intermediária).

No plantio normal e tardio, se observou um padrão similar ao do plantio anterior, em que o ISNA esteve em todas as fases abaixo (próximo) do LMI, com a exceção apenas do 4 QAP, em que o ISNA igualou-se ao LMI (plantio normal), enquanto durante o plantio tardio o ISNA esteve próximo do LMI com 0,50 (1 - 2 QAP) e apenas esteve acima do LMI com 0,69 (4 QAP). O padrão da precipitação foi diferente, pois ela foi superior a 30 mm e atingiu os 32 mm (inicial) e 46 mm (crescimento) no plantio normal e 46 mm (crescimento, plantio tardio).

No entanto, apesar de se ter observado aumento da precipitação nas últimas datas, a quantidade de água armazenada no solo não seria suficiente para suprir as necessidades da cultura, pois ela estaria em estresse principalmente, durante as fases em que mais necessita de água (inicial e crescimento). Para os plantios em anos de El Niño, a opção seria o plantio em novembro e/ou dezembro, embora com risco de perda ou baixos rendimentos, no caso do plantio em dezembro.

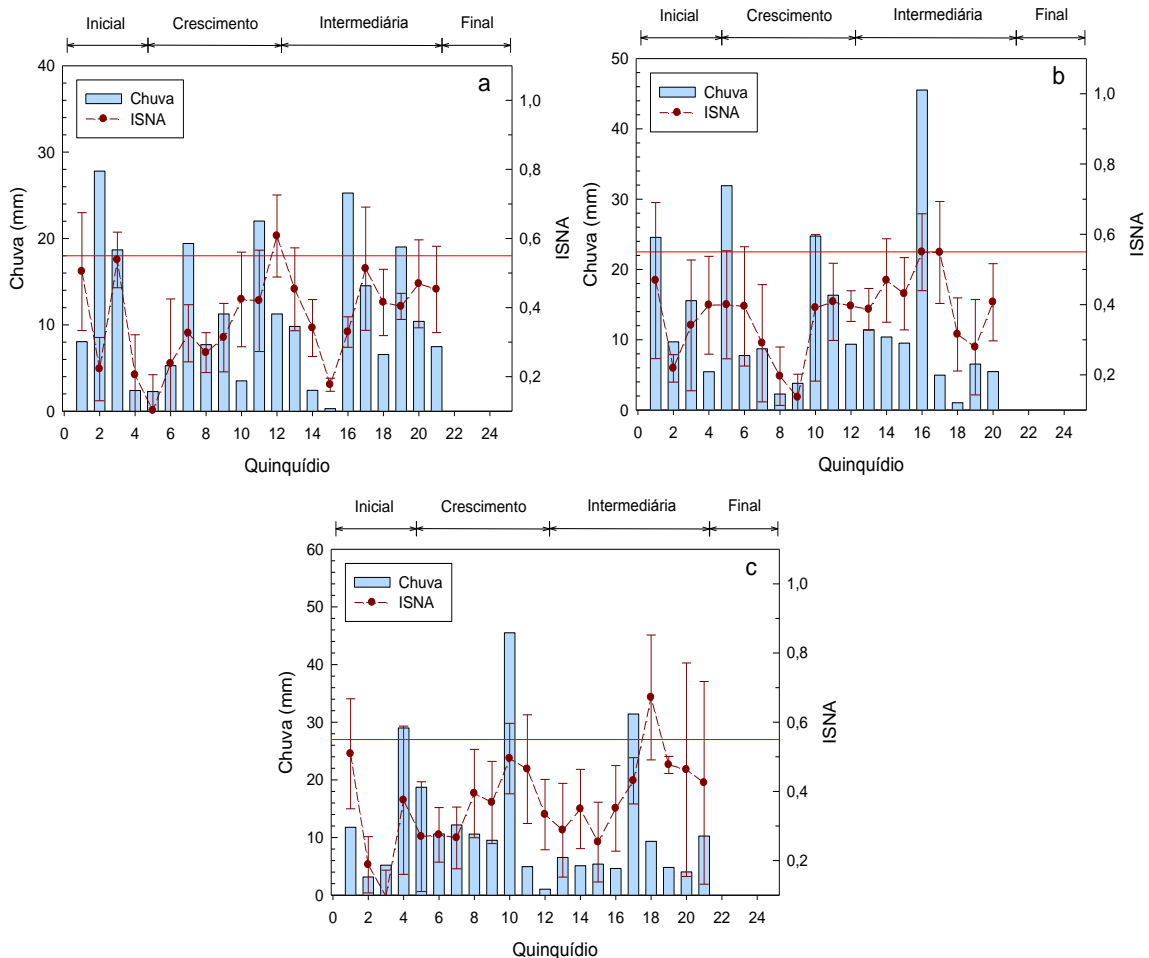


Figura 27: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de El Niño na estação de Xai-xai: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

As simulações do ISNA e da precipitação em anos de La Niña, são apresentados na Figura 26. Durante o plantio precoce se observou deficit hídrico, ou seja, o ISNA esteve abaixo e próximo do LMI 0,50 (1 – 3 QAP) e igual (3 QAP), enquanto o ISNA esteve acima do LMI com 0,60; 0,57 e 0,69 (4 QAP), respectivamente. A precipitação registrou valores baixos (< 30 mm) ao longo da fase inicial e foi aumentando gradualmente de 34 mm (crescimento) até atingir os 42 mm (intermediária). O deficit foi observado durante as fases inicial e crescimento, nestas condições a cultura estaria em estresse hídrico e, em caso do plantio nesta data o resultado esperado seria de baixos rendimentos.

No plantio normal observou-se que o ISNA igualou-se ao LMI (1 – 3 QAP) e abaixo (1, 2 – 3 QAP), enquanto o ISNA esteve acima do LMI com 0,63; 0,90 e 0,65 (4QAP), respectivamente. Quanto à precipitação durante o mesmo período, observou-se que os valores foram variáveis, onde se registrou 32 e 34 mm (inicial); 60 mm (crescimento) e 70 mm (intermediária).

O ISNA no plantio tardio esteve abaixo (próximo) com 0,50 (1 – 2 QAP) e 0,54; (1, 2 – 4 QAP) e acima do LMI com 0,60 e 0,80 (3 – 4 QAP). A precipitação observada durante este período foi igualmente variável, onde se registrou 64 mm (inicial e crescimento) e 42 mm (intermediária). Estes valores da precipitação ocorreram ao longo das três primeiras fases, onde estas condições podem favorecer as necessidades da cultura. No caso do plantio nesta data, o estresse da cultura se observaria apenas no final da fase inicial e princípio da intermediária.

Os plantios em novembro e dezembro são mais aconselhados (principalmente o de novembro), considerando que se observaram nestas datas que os valores do ISNA estiveram próximos, iguais e superiores ao LMI e os da precipitação, assim como sua distribuição e periodicidade entre os quinqüídios, apesar de que em algumas fases a cultura experimentou estresse. Enquanto o plantio em outubro não seria aconselhado, pois a cultura estaria sujeita ao estresse hídrico exatamente nas fases em que mais necessita de maior quantidade de água e principalmente, por se ter observado valores da precipitação na sua maioria inferior a 30 mm.

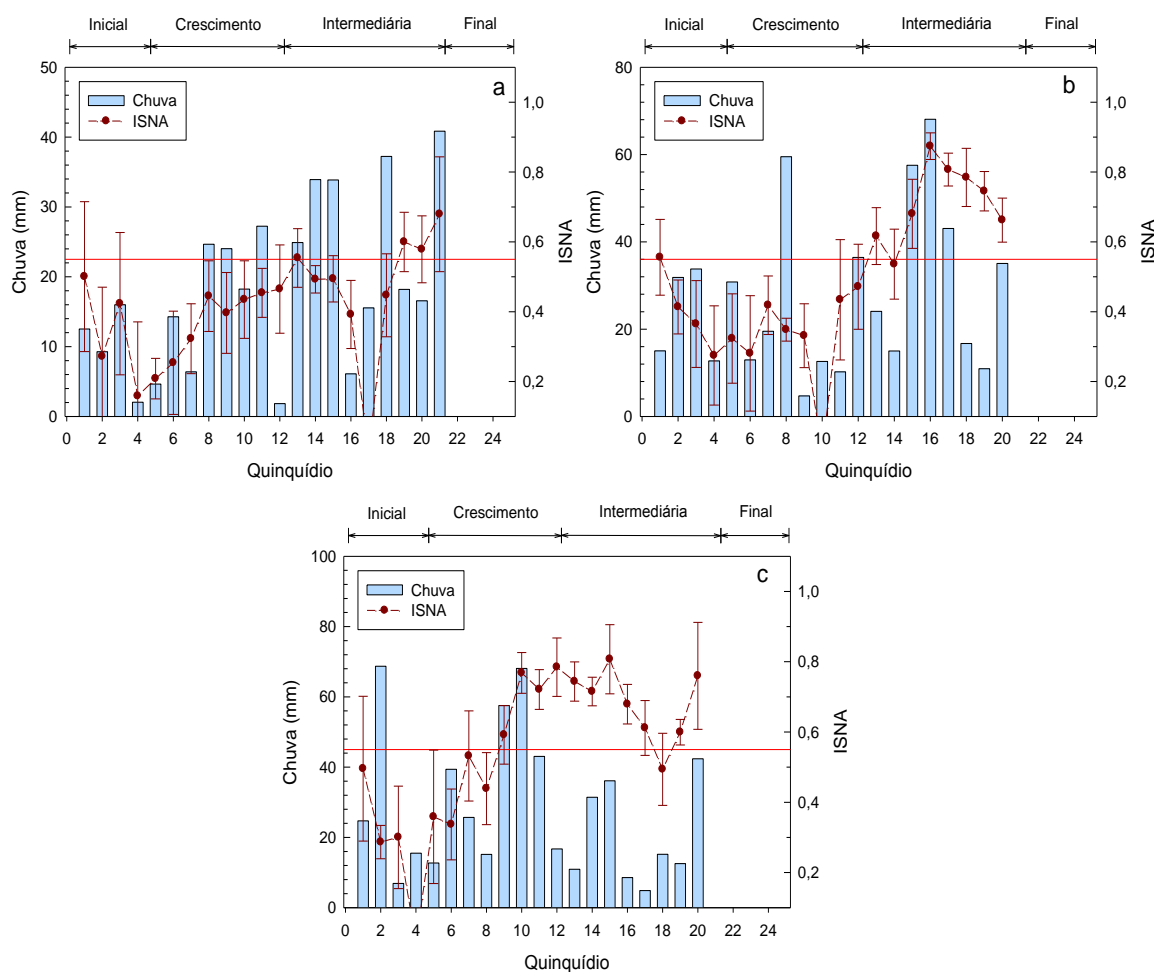


Figura 28: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de La Niña na estação de Xai-xai: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

Os resultados das simulações do ISNA e da precipitação em anos de ENOS neutros são mostrados na Figura 27. Ao longo das três datas de plantio se observou um padrão similar ao observado em anos de El Niño. Durante a data precoce, o ISNA em maior parte dos quinquídios esteve abaixo do LMI em todo ciclo, com a exceção do 1, 2, 3 – 5 QAP em que esteve próximo com 0,53 (1 QAP) e igual (3 QAP) e acima do LMI com 0,65 e 0,73 (2 – 5 QAP), respectivamente. A precipitação variou e os valores registrados foram de 56 mm (crescimento) e 37 mm (intermediária). Em caso do plantio nesta data, a cultura sofreria o estresse na primeira, segunda e terceira fase. O plantio nesta data é menos aconselhável, pois a cultura nessas fases necessita de água para a emergência, crescimento e enchimento de grãos e, conseqüentemente, maior seria o risco de obter rendimentos baixos.

Nos plantios normal e tardio observaram-se valores abaixo (igual) ao LMI (2 QAP, plantio tardio) e igual número de valores acima do LMI com 0,65 e 0,62 (1 – 5 QAP, plantio

normal); 0,56 e 0,57 (3 QAP, plantio tardio), respectivamente. A precipitação decresceu gradualmente ao longo do ciclo, de 62 mm (inicial); 25 mm (crescimento) e 20 mm (intermediária) ambos no plantio normal, enquanto no tardio para além de a precipitação ter variado esteve abaixo de 30 mm. Os plantios nestas datas são menos aconselháveis, pois a cultura experimentalista o estresse em todas as fases do ciclo. Assim, nestas condições as datas optativas para o plantio em anos neutros nesta região, seriam os plantios em outubro e/ou novembro, porém, assumindo o risco de perda ou baixos rendimentos. Contudo, estas opções devem ser tomadas em consonância aos outros sistemas meteorológicos que condicionam a chuva na região, discutidos no Cap. 1.

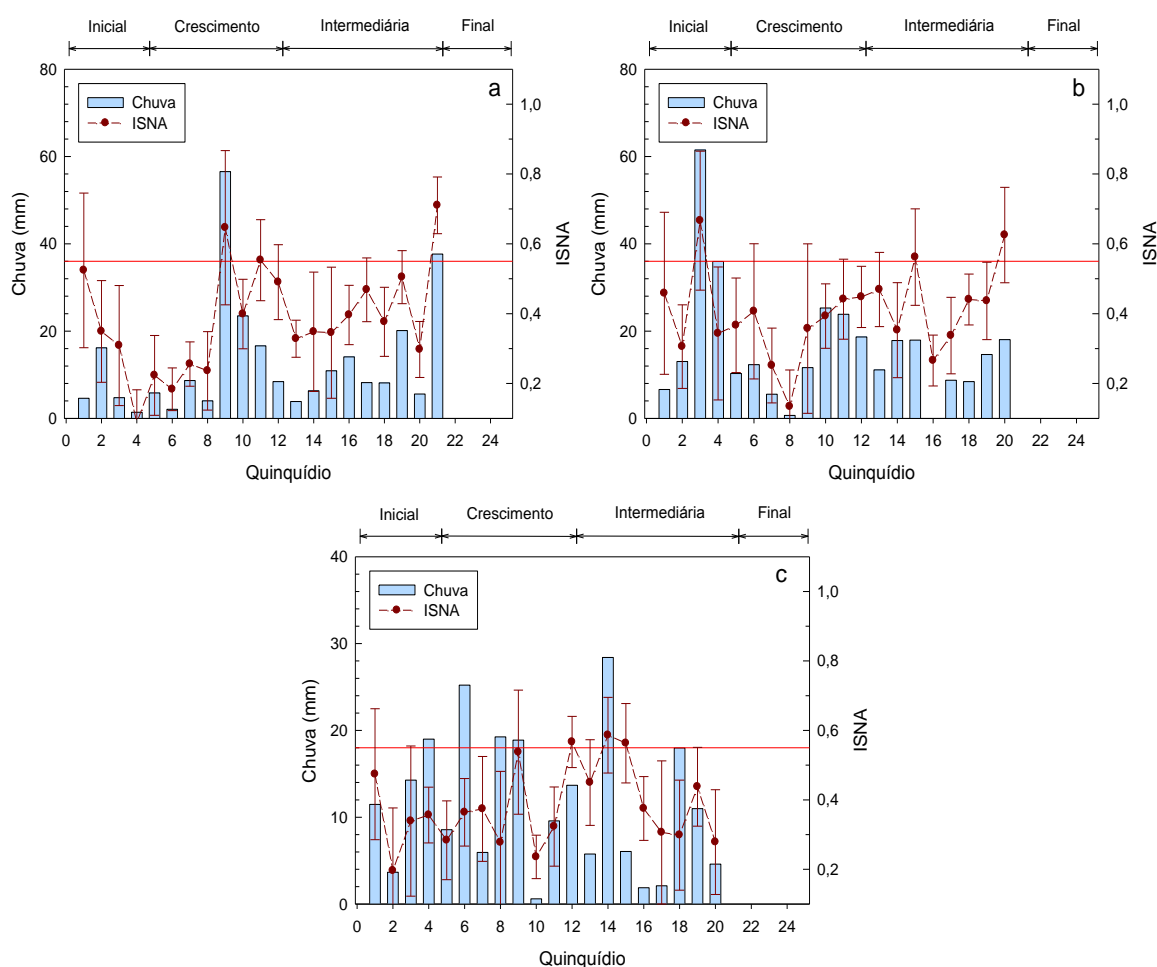


Figura 29: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos Neutros na estação de Xai-xai: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

Os resultados das simulações do ISNA e da precipitação na estação ID10 são apresentados a seguir na Figura 28, em anos de El Niño, La Niña e neutro, referentes às três

datas de plantio na província de Maputo. Contudo, os resultados apresentados nesta estação mostraram um padrão diferente ao apresentado nas estações ID1 e ID7 (Inhambane e Xai-xai). Os plantios favoráveis nesta estação são o precoce e normal em anos de La Niña e neutro, enquanto em anos de El Niño em nenhum plantio observam-se rendimentos acima do normal ou normal na sua maioria (> 50% dos anos). Ao contrário das anteriores em que são favoráveis os plantios normal e tardio, em anos de La Niña e El Niño, precoce e normal em anos neutros ID7, enquanto para o ID1 são favoráveis os plantios normal e tardio em anos de La Niña, El Niño e neutro. Estas diferenças na periodicidade, provavelmente estejam relacionadas com alguns sistemas meteorológicos que atuam na região.

Ao longo dos anos de El Niño nos plantios precoce, normal e tardio os valores do ISNA estiveram abaixo (próximo) do LMI durante todo o ciclo da cultura, com a exceção da primeira e segunda fase, em que apresentaram valores do ISNA iguais e acima do LMI. O ISNA esteve próximo do LMI com 0,51 e 0,50 (1 - 2 QAP, plantio precoce); 0,50 (1 QAP, plantio normal e 2 QAP, plantio tardio), enquanto os valores do ISNA foram superior (igual) ao LMI com 0,56 (3 QAP, plantio precoce) e igual (4 QAP, plantio normal). Os valores da precipitação foram variáveis, onde estiveram entre 26 e 35 mm, respectivamente para as fases inicial e intermediária (plantio precoce); 20, 22 e 72 mm, respectivamente para as fases inicial, crescimento e intermediária (plantio normal), enquanto para o plantio tardio os valores da precipitação foram de 21 mm (inicial); 22 e 72 mm (crescimento) e 29 mm (intermediária).

Portanto, como se pode constatar a variação da precipitação foi maior, porém irregular em termos de distribuição e periodicidade entre os quinquídios. Apesar de se ter observado certo aumento da precipitação em algumas fases, a quantidade da água armazenada no solo não seria suficiente para suprir as necessidades da cultura, pois ela estaria em estresse em todas as fases. Estas condições são menos favoráveis para os plantios em todas as datas em anos de El Niño nesta região.

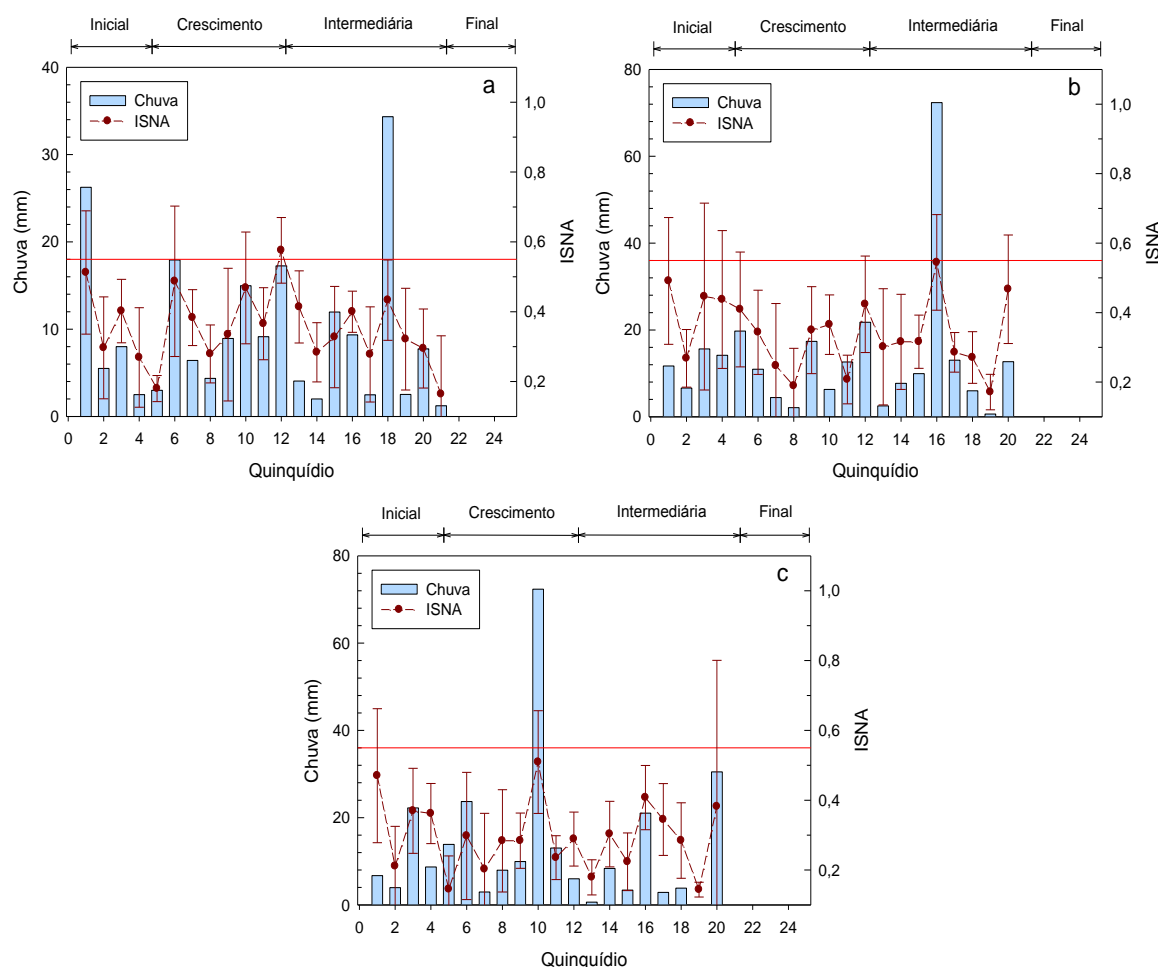


Figura 30: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de El Niño na estação de Chagalane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

As simulações do ISNA e da precipitação em anos de La Niña, são apresentados na Figura 29, onde no plantio precoce se observou deficit hídrico, ou seja, o ISNA esteve abaixo (próximo) do LMI (1 – 2 QAP), em toda fase inicial e princípio da fase de crescimento e esteve próximo do LMI com 0,50 (2, 3 – 4 QAP) e 0,53 (5 QAP). No mesmo período o ISNA esteve igual (acima) do LMI (3 – 4 QAP), enquanto acima foi com 0,60 e 0,67 (3 QAP) e 0,56 (4 QAP). A precipitação foi variável onde atingiu os 68 e 40 mm (crescimento) e se manteve abaixo dos 30 mm (intermediária) e aumentou até atingir os 92 mm (final). O valor registrado na fase final do ciclo da cultura é excessivo, pois a demanda hídrica nesta fase é menor para além de que é nela que se completa o enchimento de grãos e ocorre a maturação. O deficit foi observado durante a fase inicial e princípio da fase de crescimento, nestas condições a cultura estaria em estresse hídrico apenas no início do ciclo. Mesmo com a variação da precipitação, o plantio nesta data seria aconselhável, embora assumindo o risco de obter rendimentos baixos, em consequência do estresse observado na fase inicial e ao excesso na última.

No plantio normal observou-se que o ISNA esteve abaixo (próximo) do LMI com 0,50 (2, 3 – 5 QAP) e 0,53 (3 – 5 QAP); igualou-se apenas no 1 QAP, enquanto esteve acima do LMI com 0,57 (2 QAP); 0,65 (3 QAP) e 0,68 e 0,56 (4 QAP), respectivamente. Quanto à precipitação durante o mesmo período observou-se que os valores foram variáveis, onde se registrou 30, 64 e 48 mm para respectivamente a fase inicial e crescimento e 52 e 44 mm na intermediária. Os resultados do ISNA e da precipitação observados nesta data de plantio, sua maioria esteve próximo, igual ou acima do LMI e superiores a 30 mm, assim como sua distribuição regular entre os quinquídios. Estas quantidades da precipitação seriam suficientes para suprir as necessidades da cultura ao longo do ciclo. No entanto, o plantio nesta data em anos de La Niña, é mais aconselhável e esperam-se maiores rendimentos.

Durante o plantio tardio o ISNA esteve abaixo (próximo) e acima do LMI (1, 2 - 4 QAP); próximo apenas no 3 QAP (0,50) e acima do LMI com 0,75 (1 QAP); 0,56 e 0,62 (2 QAP); 0,56 (3 QAP); 0,60 (4QAP) e 0,92 (5 QAP). A precipitação observada durante esta data de plantio foi igualmente variável, onde se registrou 58 e 28 mm (inicial); 24 e 52 mm (crescimento) e 20 mm (intermediária) e 44 mm (final). Estes valores de precipitação ocorreram durante as três primeiras fases, onde estas quantidades não favorecem as necessidades da cultura ao longo do ciclo, vista sua irregularidade na distribuição entre os quinquídios. No caso do plantio nestas datas o estresse da cultura, seria observado na maior parte do ciclo (inicial, metade da fase de crescimento e intermediária). Contudo, os plantios em dezembro em anos de La Niña, são menos aconselhados considerando o fato de se ter observado que a cultura estaria sujeita ao estresse hídrico, ao longo das principais fases em que ela necessita de maior quantidade de água.

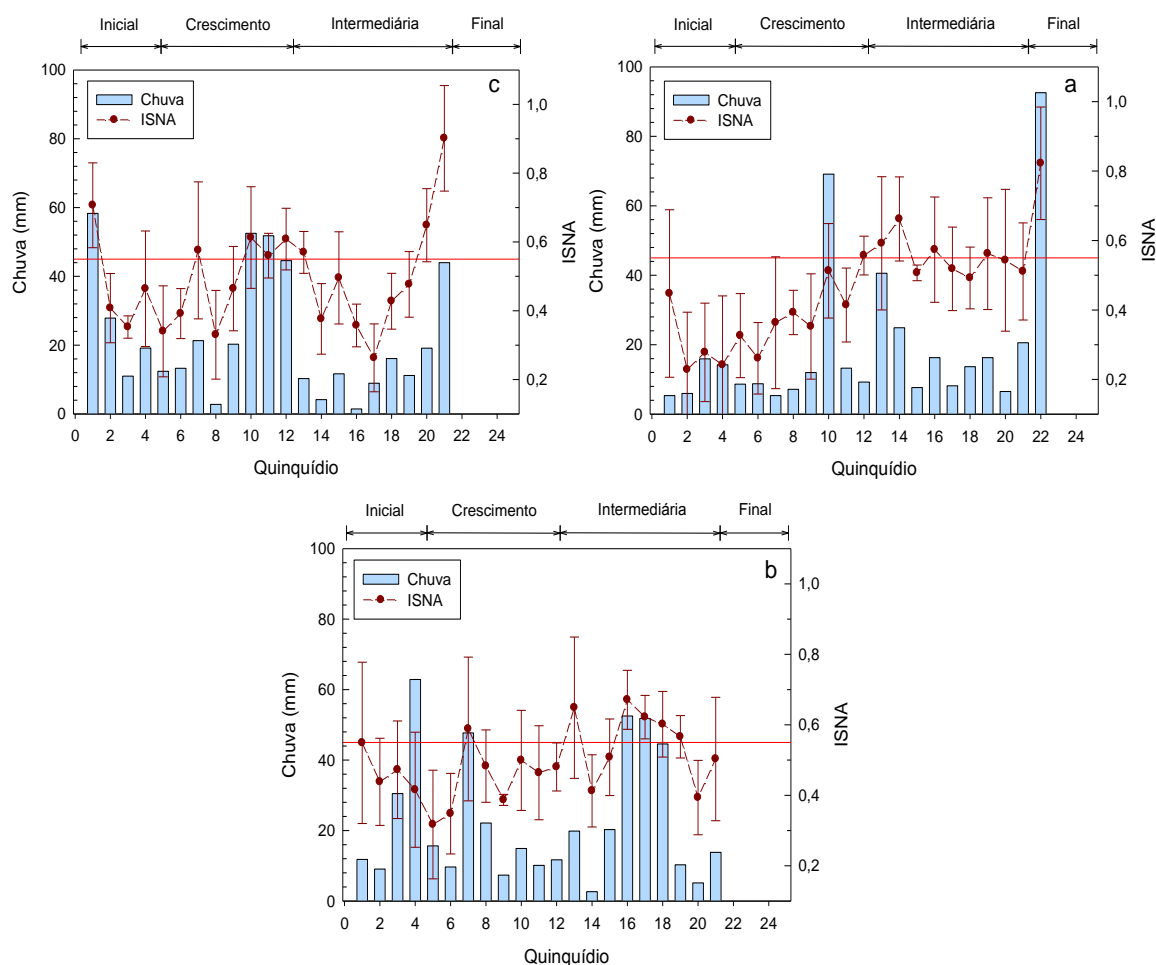


Figura 31: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos de La Niña na estação de Changelane: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

Os resultados das simulações do ISNA e da precipitação em anos de ENOS neutro são apresentados na Figura 30. O padrão apresentado ao longo das três datas de plantio é similar ao observado em anos de El Niño, diferindo-se apenas nos valores da precipitação que foram mais elevados em relação ao primeiro. Durante o plantio precoce, o ISNA em maior parte dos quinquídios esteve abaixo do LMI ao longo de todo ciclo, com a exceção do 4 – 5 QAP em que esteve próximo do LMI (0,54). A precipitação variou e os valores registrados foram de 26 mm (inicial); 16 e 18 mm (crescimento) e 35 mm (intermediária).

Em caso do plantio nesta data, a cultura sofreria o estresse em todas as fases, com a exceção da última em que a cultura não demanda maiores quantidades de água no solo. No entanto, o plantio nesta data é menos aconselhável, pois a cultura nessas fases necessita de água para a emergência, crescimento e enchimento de grãos. Conseqüentemente, maior seria o risco de obter baixos rendimentos.

Nos plantios normal e tardio observaram-se valores abaixo (próximo) ao LMI, próximo com 0,53 (4 QAP, plantio normal) e 0,54 e 0,50 (3 – 4 QAP), ambos no plantio tardio onde maior parte esteve abaixo do LMI, enquanto o ISNA acima do LMI foi de 0,58 (3 QAP, plantio normal). A precipitação variou ao longo do ciclo, de 36 mm (crescimento); 44 e 32 mm (intermediária) no plantio normal, enquanto no tardio a precipitação também variou onde registrou os 49 mm (inicial); 44 mm (crescimento) e 30 mm (intermediária). Os plantios nestas datas são menos aconselháveis, pois a cultura experimentaria o estresse hídrico em quase todas ou mesmo na totalidade das fases do ciclo da cultura. Assim, nestas condições existe maior probabilidade de perda ou baixos rendimentos. A data indicada para o plantio em anos neutros na região da província de Maputo seria o plantio em novembro, embora assumindo o risco de perda ou de obter rendimentos baixos.

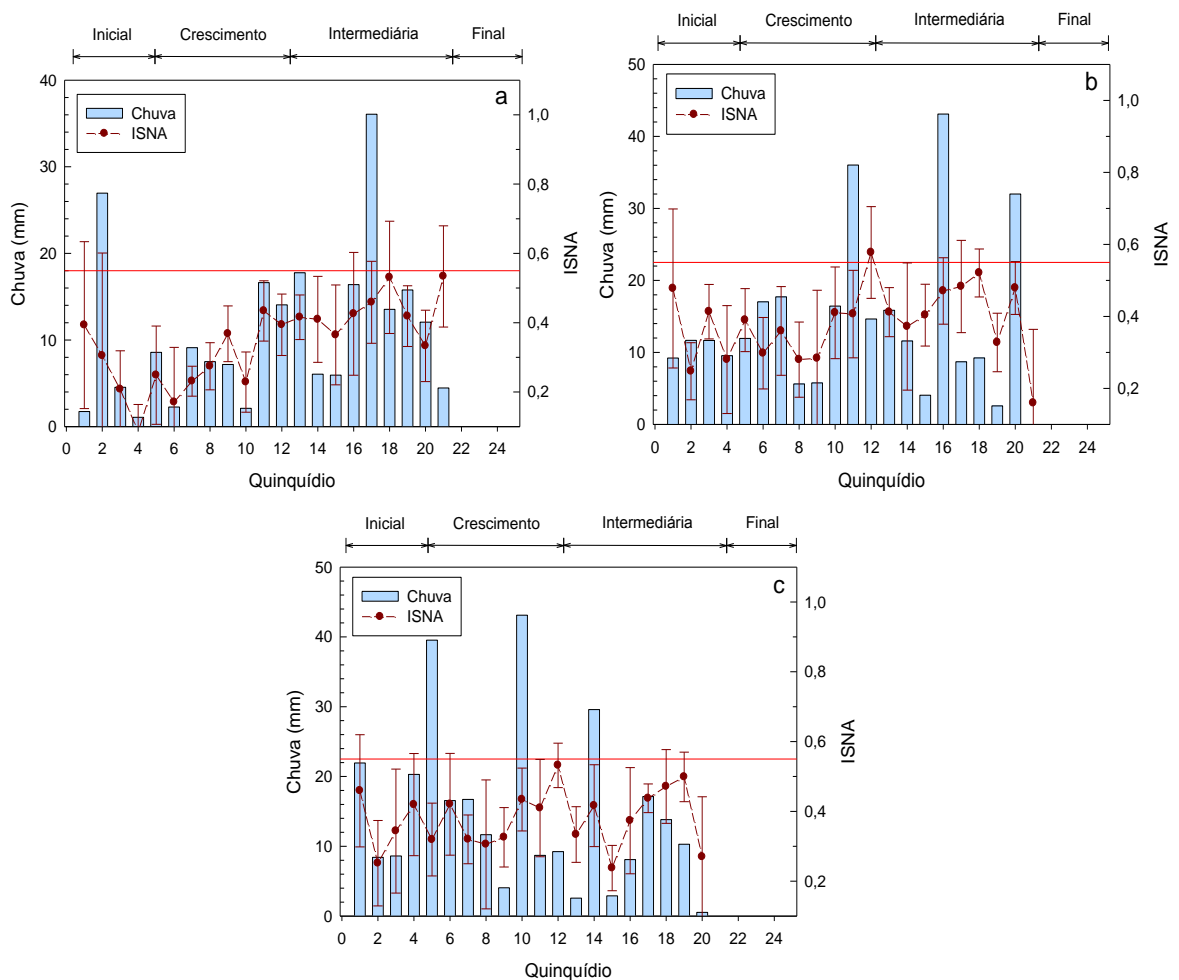


Figura 32: Avaliação da chuva e ISNA nas datas de plantio em anos Neutros na estação de Changanale: a) plantio precoce, b) plantio normal e c) plantio tardio.

2.5 CONCLUSÕES

Baseado nos rendimentos padronizados simulados para a cultura do milho para três épocas de plantio (outubro - precoce; novembro - normal; dezembro - tardia), cultivada em regime de sequeiro no sul de Moçambique, pode-se concluir que:

- Nas províncias de Inhambane e Gaza, de forma geral, os plantios em novembro ou dezembro apresentam na maior parte dos anos probabilidade de rendimentos próximos do normal ou acima do normal, enquanto na província de Maputo os plantios em outubro ou novembro é que apresentam maior probabilidade de rendimentos próximos do normal ou acima do normal, sendo recomendado para ambas o plantio normal (novembro) com maior probabilidade de sucesso do rendimento.
- Na Oscilação Decadal do Pacífico na sua fase fria a probabilidade de sucesso (normal ou acima do normal) do cultivo do milho é maior que nos anos da sua fase quente, principalmente nos plantios de novembro e dezembro em toda região sul de Moçambique. Na Oscilação Decadal do Pacífico fria recomenda-se o plantio em novembro e dezembro, enquanto na fase quente o plantio normal (novembro) é aconselhado.
- Quando considerada a influência do Dipolo do Oceano Índico e do El Niño - Oscilação Sul no rendimento do milho, observa-se que nos anos negativos do Dipolo, que coincidem com La Niña ou Neutro do ENOS, o rendimento normal e acima do normal ocorrem com maior frequência em relação aos anos de ocorrência conjunta da fase positiva do Dipolo e do El Niño, independente da época de plantio (toda região). Na fase neutra do Dipolo, independe do sinal do ENOS, espera-se maior probabilidade de sucesso do cultivo de milho em relação à fase positiva.
- Em anos de ocorrência simultânea de Dipolo do Oceano Índico negativo e La Niña ou ENOS neutro, as datas de plantio normal e tardio (novembro e dezembro) tem maior probabilidade de sucesso em toda região. Para o Dipolo positivo e El Niño o plantio tardio é recomendado (Inhambane e Gaza). No

caso do Dipolo neutro associado com anos de El Niño ou neutro o plantio tardio promove maiores probabilidades de sucesso do cultivo, enquanto para ocorrência simultânea de Dipolo neutro com La Niña sugere-se o plantio normal (Inhambane e Gaza) e os plantios precoce e normal (Maputo).

CONCLUSÕES GERAIS

Nas últimas décadas vários processos climáticos têm sido identificados e compreendidos, embora haja ainda muito mais por se identificar. A identificação e compreensão dos modos de variabilidade climática são de fundamental importância, pois permitem melhorar a previsibilidade climática e minimizar a vulnerabilidade de determinados países aos eventos naturais, que têm maior relevância no planejamento das atividades, principalmente no setor agrícola. A produtividade agrícola é vulnerável às alterações climáticas. Contudo, qualquer variação climática afeta o zoneamento agrícola, a produtividade de diversas culturas e as técnicas de manejo. No âmbito do objetivo deste trabalho pode-se concluir que:

- ❖ Dentre os modos da variabilidade climática que atuam na África Austral e na RSM, desde os de escala global aos de escala regional destacam-se: i) a Oscilação Decadal do Pacífico; ii) o Dipolo do Oceano Índico; iii) o El Niño - Oscilação Sul e iv) a Zona de Convergência Intertropical.
- ❖ A ZCIT é um sistema meteorológico de maior relevância, que contribui para a variabilidade temporal e espacial da precipitação na RSM. Seu efeito ocorre, embora não com maior intensidade, na região compreendida entre o rio Save e o Trópico de Capricórnio (especificamente no norte de Inhambane e Gaza), onde contribui geralmente, para o início tardio da época chuvosa, entre os meses de novembro e dezembro.
- ❖ A ocorrência dos MVC é associada a variações na produtividade e baixos rendimentos agrícolas na RSM. De forma geral, maior número de anos com a probabilidade de sucessos em rendimentos próximos do normal ou acima do normal é observado durante as épocas de plantio (novembro – normal) e (dezembro – tardio), na maior parte das estações estudadas na RSM.

RECOMENDAÇÕES

As variabilidades temporais (sazonal e interanual) e espaciais (regional e grande escala) das condições do clima são fundamentais para a agricultura e para gestão dos recursos naturais. É também importante a variabilidade da precipitação, particularmente no que diz respeito ao uso humano. Assim, é importante que em outros estudos, se aprofunde mais na identificação e compreensão de outros modos da variabilidade climática, que atuam na região da África Austral e RSM utilizando outros métodos e modelos climáticos.

As estações meteorológicas na região de estudo têm uma distribuição mais concentrada na área litoral, onde ocorre maior densidade populacional. No entanto, se houvesse uma distribuição mais uniforme e, sobretudo, um número maior de estações, que pudesse cobrir as grandes áreas vazias no território, especificamente na parte sudoeste de Inhambane e oeste de Gaza, obviamente a caracterização das regiões homogêneas estaria completa e bem definida. É de domínio que um dos maiores constrangimentos na análise das tendências climáticas é a distância entre as estações meteorológicas.

O calendário agrícola é uma ferramenta interativa e dinâmica, que deve ser disponibilizado para o uso público. Contudo, a inclusão desta ferramenta de previsão em projetos agrícolas, auxiliaria no acompanhamento das atividades e indicação das datas de plantio de diversas culturas (particularmente o milho) em regime de sequeiro, em consonância com as adversidades das condições climáticas, em decorrência aos MVC atuantes nas regiões da África Austral e particularmente na RSM.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURA DE SUBSISTÊNCIA. In: Sua pesquisa.com. Disponível em: <http://www.suapesquisa.com/o_que_e/agricultura_substistencia.htm>; acesso em 10/03/2013.
- ALLEN, P. **Connecting the social and the ecological in Sustainable Agriculture, In Food for the future: conditions and contradictions of Sustainability**, Edited by Allen, P., pp. 1-16, John Wiley & Sons, p. 328, New York, 1993.
- ALLEN, R.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. & SMITH, M. **Crop Evaporation. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage. Paper n.56**, FAO, Rome. 1998.
- ALLEN, R. **Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00>>. Acesso em 30/12/2011.
- ARORA, V. K. & GAJRI, P. R. **Assessment of a crop growth-water balance model for predicting maize growth and yield in a subtropical environment**. Agricultural Water Management, Amsterdam v.46, n. 2, p.157-166, 2000.
- ASSAD, E. D. e PINTO, H. S. **Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil**; (Embrapa Agropecuária), (Cepagri/Unicamp), São Paulo, 2008.
- BARROS, A. H. C., **Análise do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea Mays L.*): Experimentos e modelos**. Dissertação Mestrado Universidade Federal de Viçosa – UFV, p.85, Viçosa - Brasil, 1998.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. **Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M. e PEREIRA, P. G. **Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.2, p.243-249, Brasília, 2006.

- BONATO, O.; SCHULTHESS, F. and BAUMGÄRTNER, J. **Simulation model for maize crop growth based on acquisition and allocation processes for carbohydrate and nitrogen.** *Ecological Modelling*, Copenhagen, v.124, n.1, p.11-28, 1999.
- BROMILOW, R. H. **Paraquat and sustainable agriculture:** Biological Chemistry Division - Rothamsted Research, Harpenden, Herts, AL5 2JQ, UK, 2003. Disponível em: <<http://paraquat.com/sites/default/files/images/5.2.2%20Download.pdf>>. Acesso em: 10/01/2012.
- BURKE, M. B. LOBELL, D. B. & GUARINO, L. **Shifts in African Crop Climates by 2050, and the Implications for Crop Improvement and Genetic Resources Conservation:** *Global Environmental Change*, vol. 19, no. 3, 2009.
- COSTA, L. C. e BARROS, A. H. C. **Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho,** *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.9, n.1, pp.75-82, 2001.
- de VRIES, F. W. T. P.; JANSEN, D. M.; TEN BERGE, H. F. M. and BAKEMA, A. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops.** *Simulation Monographs*, Pudoc: Wageningen, p. 271, 1989.
- FARIA, R.T.; CARAMORI, P.H.; CHIBANA, E.Y. e BRITO, L.R.S. **CLIMA: Programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos.** *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.2, pp. 372-387, 2003.
- FATO, P.; CHAÚQUE, P. S.; MULIMA, E.; MUTIMBA, E. A. A.; SENETE, C. T. e NHAMUCHO, E. **Manual de Produção de Milho.** Coleção Transferência de Tecnologia. Série Agricultura Nº 2. Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), Maputo, 2011.
- Famine Early Warning System NETwork (FEWS NET). **Water Requirement Satisfaction Index (WRSI)**, 2007.
- FRANCE, J. & THORNLEY, J. H. M. **Mathematical models in agriculture. The quantitative approach to problems in agriculture and related sciences.** p. 334, London - Butterworth, 1984.
- FURTADO, R.F.; MANO, A. R. O.; ALVES, C. R.; FREITAS, S. M. e FILHO, S. M. **Efeito da salinidade na germinação de sementes de algodão.** *Revista Ciência Agronômica*, v.38, n.2, p.224-227, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2007.

- GONÇALVES, L. M. M. P. **Agricultura – Ficha de trabalhos NG6-DR2**. Escola Secundária da Amadora - Curso EFA Secundário, Área de Competência Chave: Sociedade, Tecnologia e Ciência, Ano letivo 2009/2010, 2010.
- HARGREAVES, G.H., SAMANI, Z.A. **Estimating potential evapotranspiration**. Journal Irrigation and Drainage Engineering, 3, pp. 225-230, 1982.
- HARGREAVES, G.H. **Simplified coefficients for estimating monthly solar radiation in North America and Europe**. Dept. Biological and Irrigation Engineering, Utah State University, Utah, EUA, 1994.
- LYRA, G. B.; SEDIYAMA, G. C.; LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R. e de SOUZA, E. F. **Evapotranspiração da Cultura de Cana-de-Açúcar na Região de Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas: Coeficiente da Cultura “Único” Padrão Boletim FAO-56**. tecnologia/pesquisa, Vol. 28 nº 4, Alagoas – Brasil, 2007
- LYRA, G. B.; LYRA, G. B.; de SOUZA, J. L. e dos SANTOS, M. A. **Balço Sequencial de Água no Solo para o Manejo da Irrigação de Baixa Freqüência e Alta Intensidade na Cana-de-Açúcar no Estado de Alagoas**. tecnologia/pesquisa, Vol. 28 nº 4, Alagoas – Brasil, 2010.
- MABILANA, H. A.; FONTANA, D. C. e FONSECA, E. L. da. **Desenvolvimento de modelo agrometeorológico espectral para estimativa de rendimento do milho na Província de Manica-Moçambique**. Rev. Ceres, Viçosa, v. 59, n.3, pp. 337-349, 2012.
- MORIZET, J.; TOGOLA, D. **Effect et arrière-effect de la sécheresse sur la croissance de plusieurs génotypes de maïs**. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE, 1984, Versailles. Les besoins en eau des cultures. Paris: Inra, pp.351-360. , 1984.
- MOTA, F. S. da. **Meteorologia Agrícola**. 5. ed., p. 376, São Paulo, 1981.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, p.183, 1997.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R e SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Livraria e Editora Agropecuária, 2002.
- POUSIO. In: **iDicionário Aulete**. Disponível em: <<http://aulete.uol.com.br/pousio#ixzz2IL5GJ5AC>>; acesso em: 29/05/2011.
- PRELA, A; IBET, B; GARCIA, L. e PEREIRA, A. R. **Varição de Graus-dia em Piracicaba (SP), em anos de El Niño e La Niña**. Bragantia, Campinas. v.65, n.3, pp. 528-529, 2006.

- QUARANTA, G. **Agricultura de sequeiro, LUCINDA-Land Care In Desertification Affected Areas: From Science Towards Application**, folheto série C, nº 04, 2013. Disponível Em: <http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/C4_Leaflet_PT.pdf>; em: <pt.wikipedia.org, o artigo Agricultura de sequeiro Versão: 2013-06-04>. Acesso em: 10/07/2013.
- REDDY, K.R. & HODGES, H.F. **Climate Change and Global Crop Productivity**. CABI Publishing, p. 472. Wallingford, UK, 2000.
- SÁNCHEZ, C.; FISCHER, H.; VASCONCELOS, C.; MASON, M. e SANA, E. T. C. **O milho – Uma Cultura de Boa Nutrição e de Muita Energia**. Consórcio SANA – Africare, CLUSA e Save the Children. pp. 2-9. Moçambique, 2011.
- SANDRE, L. C. G. e FIORELLI, J. **Elaboração de calendário agrícola para a região oeste do Estado de São Paulo**. Rev. Ciênc. Ext. v.5, n.2, Universidade Estadual Paulista (UNESP), p.21, São Paulo – SP, 2009.
- SAWANGUANE, J. **Prognóstico dos Rendimentos Qualitativos do Milho na Agricultura de Sequeiro em Moçambique**: Tese de Licenciatura em Meteorologia, Faculdade de Ciências, Departamento de Física - Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Maputo, 2005.
- SCHUSSLER, R.J. and WESTGATE, M.E. **Maize kernel set at low potential. I. Sensivity to reduced assimilates during early kernel growth**. Crop Science, v.31, p.1189-1195, 1991.
- SILVA, E. C. **Evapotranspiração real em cultivo de milho no Agreste Alagoano**: Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Área de Concentração: Processos de Superfície Terrestre - Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia, Maceió – AL, 2010.
- THORNLEY, J. H. M. & JOHNSON, I.R. **Plant and crop modelling**. New Jersey - Blackburn Press, p. 669, 2000.
- THORNTHWAITE, C.W. and MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1), 1955.
- THRUPP, L.A. **Political ecology of sustainable rural development: dynamics of social and natural resource degradation, In Food for the Future: Conditions and Contradictions of Sustainability**, Edited by Allen, P., pp. 47-74, John Wiley & Sons, New York, , 1993, 328p.

- VILLA NOVA, N. A.; PEDRO Jr., M. J.; PEREIRA, A. R. e OMETTO, J. C. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima.** Caderno de Ciência da Terra, Universidade de São Paulo – USP, p.8, São Paulo - SP, Brasil, 1972.
- WOLSCHICK, D. **Modelo SMAS – C: Inclusão da modelagem do crescimento e desenvolvimento do milho.** tese apresentada à UFV, para obtenção do título de *Doutor Scientiae*, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais – MG, Brasil, 2004.
- WOLSCHICK, D; MARTINEZ, M. A.; FONTES, P. C. R. & de MATOS, A. T. **Implementação e teste de um modelo mecanístico de simulação do crescimento e desenvolvimento de plantas de milho:** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.3, Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à UFV, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>, pp. 271–278, 2007.
- WORLD BANK. **Banco Mundial Apoia Incremento da Produtividade Agrícola em Moçambique, Malawi e Zâmbia.** News Release 2013/277/AFR, WASHINGTON DC, 2013.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI) in collaboration with United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, and World Bank. 2005. **World Resources 2005: The Wealth of the Poor - Managing Ecosystems to Fight Poverty.** Washington, DC: WRI, 2005.