



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

DAGMER PATRÍCIA MIGUEL CAUENDE

**AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL EM ANGOLA E OS SISTEMAS
METEOROLÓGICOS ATUANTES**

**MACEIÓ
2020**

DAGMER PATRÍCIA MIGUEL CAUENDE

AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL EM ANGOLA E OS SISTEMAS
METEOROLÓGICOS ATUANTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Meteorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas,
como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre
em Ciências em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de
Amorim -

Maceió
2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 - 1767

C371a Cauende, Dagmer Patrícia Miguel.
 Avaliação da precipitação pluvial em Angola e os sistemas meteorológicos atuantes
 / Dagmer Patrícia Miguel Cauende. – 2020.
 68 f. : il.

Orientador: Ricardo Ferreira Carlos de Amorim.
Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas.
Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2020.

Bibliografia: f. 62-68.

1. Instituto Nacional de Meteorologia (Angola). 2. Análise por agrupamento. 3.
Centro de Pesquisa Climática. 4. Precipitação (Meteorologia) - Variabilidade. I.
Título.

CDU: 551.508.7 (673)

Este trabalho é dedicado primeiramente à Jeová Deus, pelo dom da vida concedido, sem ele eu não teria capacidade para desenvolvê-lo. Aos meus pais, Feliciano Cauende (em memória) e Costancia Cauende. À minha família e amigos, pela compreensão e carinho demonstrados durante o período que estive envolvida profundamente com a investigação.

.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jeová Deus por estar sempre comigo dando-me sabedoria, Paz e tranquilidade em todos os momentos desta trajetória e por colocar pessoas certas em meu caminho.

Um agradecimento especial ao meu orientador Doutor Ricardo Ferreira Carlos de Amorim, pela orientação, pelo apoio prestado, pela nobreza de pessoa que é, como ser humano e por compreender as dificuldades do ser humano, a fim de contribuir pacientemente para minha formação e crescimento profissional. Muito obrigada por me acompanhar sempre nessa difícil jornada e por motivar o meu interesse pelo conhecimento; pela força e coragem nos momentos mais difíceis em que a esperança parecia não ser vista no fundo do túnel.

A CAPES pelo apoio financeiro no Brasil.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia de Angola (INAMET) pelo fornecimento dos dados de precipitação pluvial.

Ao meu querido amigo Benjamim Domingos, não cansarei de dizer-te muito obrigada por tudo, pelos conselhos, pelos incentivos, por acreditares em mim e por veres o que eu não consegui ver ‘o potencial que tenho’.

A minha querida Doutora Márcia Cristina da Silva Moraes, pelo apoio incondicional, pelo suporte, obrigada por tudo querida, pois te levarei eternamente na minha vida.

Agradeço especialmente ao meu amigo João Afonso que me ajudou, durante a Pós-graduação, não economizou esforços, na verdade es um verdadeiro irmão.

Ao meu grande amigo Anacleto Diogo, uma pessoa que admiro muito, obrigada pelos momentos construtivos para a pesquisa, e principalmente pelas conversas, incentivos, ensinamentos e apoio em todos os momentos, ao meu mano Nelson pelo suporte e ensinamentos no momento que precisei e, aos meus amigos Randy Ambrósio e Abigail Musa, pelo suporte no *lâtex*, muito obrigada por tudo, juntos somos mais fortes.

Aos meus amigos do curso de mestrado que estiveram comigo nos momentos de estudos e pesquisas Gomes, Bruno, Rodrigo, Sherlly e Alexsandra.

À Universidade Federal de Alagoas, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia pela oportunidade cedida e ao Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) pela oportunidade de prosseguir os meus estudos. Em nome da mesma, agradeço aos técnicos, alunos e professores.

Agradeço imensamente aos professores do Mestrado, Luciene Melo, Natália Fedorova, Djane Fonseca, Ricardo Amorim, Ricardo Tenório (em memória), Vladimir Levit, Roberto

Lyra, Heliofábio Gomes, Humberto Barbosa, Geórgenes Hilário, Fabrício Daniel, Francisco Junior e Glauber Mariano por serem competentes na realização do vosso trabalho.

Aos meus Pais, Feliciano Cauende (em memória) e Constância Cauende, por respeitar a minha decisão de estudar fora de Angola e, pelo amor, carinho e atenção a mim dedicados, bem como aos meus irmãos e, em especial, às minhas queridas manas Edna da Cunha, Lana Feliciano, Azenaith Cauende e Ana Marisa, pela força e apoio em todos os momentos e por me ajudarem a superar as dificuldades encontradas, sem esquecer o meu caçula Décio Dorivaldo, juro que nunca vou conseguir retribuir todo o suporte que recebi de ti, foste uma das peças fundamentais para que eu conseguisse permanecer firme até o fim, aos meus queridos tios, especialmente aos meus tios a quem trato carinhosamente por: Papa Mendes Cauende e Papa Gervásio Cauende, obrigada por tudo que vocês têm feito por mim, pois vocês souberam compreender-me, pelas ausências constantes, as minhas sinceras desculpas pelos transtornos e sacrifícios aprovados.

Aos meus sobrinhos, vocês são o melhor presente dos meus irmãos na minha vida. De forma geral aos meus familiares, que souberam lidar com a distância e, que diretamente ou indiretamente me ajudaram nessa etapa da minha vida.

As minhas queridas amigas Cristina e Laura por não desistirem de mim e, por se mostrarem ser leais a nossa amizade, obrigada por cada ligação, muito obrigada por se mostrarem sempre disponíveis.

Aos meus amigos da vida que respeitaram a minha ausência nos momentos de estudo.

A todos anônimos contribuintes.

O meu muito obrigada. .

*“Há quem diga que acabei mal... Mas,
honestamente,
sinto que estou só a começar.
(Asuen Suetam)*

RESUMO

A influência da convecção tropical constitui-se em um fator importante para ocorrência de precipitação pluvial (pp) na África. Um dos mecanismos mais importantes para ocorrência de extremos de precipitação na África é a Zona de convergência intertropical (ZCIT), em que maior parte da pp ocorre no verão austral. O objetivo principal desse estudo foi avaliar o regime de pp em Angola e a dinâmica dos sistemas meteorológicos atuantes e ver como esses estão associados às variações no padrão de pp. A metodologia utilizada para a realização desse estudo iniciou com a validação da pp do CPC, em seguida a descrição do método de análise de agrupamento a climatologia da pp sobre a região de estudo e finalmente análise dos padrões dinâmicos e termodinâmicos na escala sinótica com dados de reanálise do NCEP, que influenciam na distribuição espacial da pp sobre a região de Angola. Os resultados das medidas estatísticas na validação dos dados de pp do CPC estimado em função da pp observada mostrou que em geral, os valores estiveram abaixo das médias, mostrando assim que os dados do CPC não teve boa representação em relação a pp das estações do INAMET. Na análise de agrupamento constatou-se 4 grupos (do 3 ao 6) com 2 períodos: seco (outono-inverno) e chuvoso (primavera-verão) bem definidos, com acúmulo de pp no decorrer do ano. A parte norte com picos de PP nos meses de abril e novembro (com média mensal de 131,59 mm/mês e 136,42 mm/mês, respectivamente), região centro-sudeste e região leste com pico de chuva no verão, principalmente no mês de janeiro (com média mensal de 116,54 mm/mês e 216,94 mm/mês), respectivamente e a região sudoeste conhecida como uma zona desértica com pico máximo de pp no mês de abril (com média mensal de 41,62 mm/mês). Os resultados dos doze meses analisados mostraram que a pp inicia com a chegada da primavera (setembro, outubro e novembro) e se espalham por quase todas as regiões com a chegada do verão (dezembro, janeiro e fevereiro), mostrando que o regime de PP em todas as estações analisadas tem ciclos anuais muito marcantes, com a chuva concentrada nos meses do verão, que é o período de maior convecção, sendo os meses mais chuvosos de setembro a fevereiro. Portanto, as análises dos padrões dinâmicos e termodinâmicos na escala sinótica, mostraram que o transporte de umidade e aumento da convecção sobre as regiões de Angola, é favorecido pela convergência de ventos e deslocamento de massa em baixos níveis, estando associado ao posicionamento da ZCIT durante as estações da primavera e verão.

Palavras-chave: Análise de Agrupamento, Estações do INAMET, Validação, CPC.

ABSTRACT

The influence of tropical convection is an important factor for the occurrence of rainfall in Africa. One of the most important mechanisms for the occurrence of extreme precipitation in Africa is the Intertropical Convergence Zone (ZCIT), in which most of the rain occurs in the southern summer. The main objective of this study was to evaluate the rainfall regime in Angola and the dynamics meteorological systems and see how they are associated with variations in the pattern of rainfall. The methodology used to carry out this study started with the validation of the CPC rainfall, then the description of the cluster analysis method, the climatology of the rainfall over the study region and finally analysis of the dynamic and thermodynamic patterns on the synoptic scale with NCEP reanalysis data, which influence the spatial distribution of rainfall over the region of Angola. The results of the statistical measures in the validation of the rainfall data CPC estimated in function of the observed rainfall showed that, in general, the values were below the averages, thus showing that the CPC data did not have a good representation in relation to the rainfall of the seasons from INAMET. In the cluster analysis it was found that 4 groups (from 3 to 6) had 2 periods: dry (autumn-winter) and rainy (spring-summer) well defined, with accumulation of precipitation throughout the year. the northern part with rain peaks in the months of April and November (with a monthly average of 131.59 mm / month and 136.42 mm / month, respectively), the central-southeastern region and the eastern region with a peak of rain in the summer, mainly in the month January (with a monthly average of 116.54 mm / month and 216.94 mm / month), respectively and the southwest region known as a desert zone with maximum peak rainfall in April (with a monthly average of 41.62 mm / month). the results of the twelve months analyzed showed that rainfall starts with the arrival of spring (September, October and November) and spreads to almost all regions with the arrival of summer (December, January and February), showing that the rain in all the analyzed seasons has very marked annual cycles, with the rain concentrated in the summer months (December, January and February), which is the period of greatest convection, being the rainiest months from September to February. of dynamic and thermodynamic patterns on the synoptic scale, showed that moisture transport and increased convection over the regions of Angola, is favored by the convergence of winds and mass displacement at low levels, being associated with the position of the ZCIT during the spring seasons it's summer.

Keywords: Cluster Analysis, INAMET Stations, Validation, CPC

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais tipos de clima para África segundo a classificação de Köp- pendestaque para Angola. Fonte: NGOLO (2014), adaptado de PEEL et al. (2007),	20
Figura 2 – Posicionamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical no con- tinent africano. A esquerda (direita) corresponde ao Inverno (Verão) no hemisfério sul.Fonte: adaptada de (PULNEV et al., 2012)	27
Figura 3 – Fluxos predominantes próximos em superfície e zonas de convergência sobre a região SA/SEA; A letra “L” (LOW em Inglês) representa o centro de baixa pressão, neste caso, sobre a região da Angola e Congo que se forma no período úmido. Fonte: adaptada de MCHUGH and ROGERS (2001)	28
Figura 4 – Deslocamento longitudinal das altas subtropicais para a fase quente da ODP 1976-1998.Fonte: Adaptado de Musk (1988)	29
Figura 5 – Distribuição média temporal da pressão ao nível médio do mar. São indicados os centros de alta (A) e baixa(B) pressão bem como os ventos predominantes à superfície (setas). Fonte. POMBAL, (2016),adaptado do VAREJÃO, 1999.	31
Figura 6 – Ilustração esquemática da fase positiva do DOIT; a cor vermelha in- dica regiões com anomalias positivas de TSM e cor azul, regiões com anomalias negativas e de branco para região de aumento de atividade convectiva Fonte : Adaptado de SAJI et al. (1999)	34
Figura 7 – Representação esquemática da circulação de Walker sobre o equador na fase positiva do ENOS-LaNiña (superior) e fase negativa, El Niño (inferior), Fonte: Adapatado de ROPELEWSKI and HALPERT (1987)	35
Figura 8 – Representação esquemática de regiões do continente Africano (LEA e SEA), onde o ENSO apresenta influência sobre a precipitação. Fonte: Adaptado de ROPELEWSKI and HALPERT (1987)	36
Figura 9 – Localização da região de estudo. Fonte: Autor, (2019)	38
Figura 10 – Distribuição espacial das estações obtidas da rede do Instituto Nacional de Meteorologia de Angola (INAMET) durante o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2013. Os pontos em azul as estações utilizadas no estudo e em vermelho as descartadas	40
Figura 11 – Localização dos pluviômetros do sistema de global de telecomunica- ções (GTS) em 01 de julho de 2003 plotado sobre a topografia. Fonte: adaptado de Chenetal,(2008).	41

Figura 12 – Diagrama de Taylor para as estações de Cabinda (1), Luanda (2), Namibe (3), Benguela (4), Moxico (5), Sumbe (6), P. Ambuim (7), Malange (8), Uíge (9), para os dados mensais durante o período de 1979 a 2013. .	48
Figura 13 – Análise de agrupamento para a região da África Austral (a) e Ciclo Mensal de 4 grupos sobre Angola. Circo tracejado a região de estudo. .	49
Figura 14 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 3.	50
Figura 15 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 4.	51
Figura 16 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 5.	52
Figura 17 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 7 - Cabinda. .	53
Figura 18 – Gráfico da precipitação sazonal das estações do Grupo 3.	54
Figura 19 – Gráfico da precipitação sazonal das estações do Grupo 4.	55
Figura 20 – Gráfico da precipitação sazonal para as estações do Grupo 5.	56
Figura 21 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 7 - Cabinda. .	56
Figura 22 – Padrões Dinâmicos e Convectivos em escala sinótica de Outubro a Março de 1979 a 2013.	58
Figura 23 – Padrões Dinâmicos e Convectivos em escala sinótica do Abril a Setembro de 1979 a 2013.	60
Figura 24 – Padrões Dinâmicos e Convectivos em escala sinótica de Dezembro a Maio 1979 a 2013.	62
Figura 25 – Padrões Dinâmicos e Convectivos em escala sinótica de Junho a Novembro 1979 a 2013.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações da rede do INAMET para o período de estudo (01/1979 - 12/2013). O traço na coluna 6 (período) representa o não levantamento de informações	39
Tabela 2 – Resultados das métricas estatísticas para todas as estações de cada província de Angola para os dados mensais durante o período de 1979 a 2013.	46

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Corrente de Angola
AST	Alta Subtropical
Aw	Clima de Savana
BSh	Semiárido Quente
BWh	Desértico Quente
BWh	Corrente de Benguela
CPC	Centro de Pesquisa Climática
Cwa	Subtropical úmido
Cwb	Subtropical de altitude
FA-B	Frente Angola - Benguela
FIT	Frente Intertropical
GPCC	Centro Global de Precipitação Climática
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
CIT	Convergência Intertropical
DIT	Descontinuidade Intertropical
FIT	Frente Intertropical
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
INAMET	Instituto Nacional de Meteorologia de Angola
PNM	pressão média ao nível do mar
ROL	Radiação de Ondas Longas
DSD	Descontinuidade de superfície
PP	Precipitação Pluvial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	GERAL	17
1.1.2	ESPECÍFICOS	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	ASPECTOS GERAIS DO CONTINENTE AFRICANO	19
2.2	CLIMAS AFRICANOS	19
2.3	ASPECTOS GERAIS DO TERRITÓRIO DE ANGOLA	22
2.4	CLIMA DO TERRITÓRIO DE ANGOLA	22
2.5	SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES SOBRE A REGIÃO TROPICAL DE ÁFRICA	25
2.5.1	ZONAS DE CONVERGÊNCIA	25
2.5.2	FRENTE INTERTROPICAL-(FIT)	28
2.5.3	ANTICICLONE DO ATLÂNTICO SUL-AST	29
2.5.4	BAIXA DE ANGOLA	31
2.6	DIPOLO DO OCEANO ÍNDICO TROPICAL	33
2.7	EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL (ENOS)	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	MATERIAIS	37
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
3.3	DADOS	38
3.3.1	DADOS OBSERVADOS	38
3.3.2	DADOS DE PRECIPITAÇÃO DE MODELOS	39
3.3.3	DADOS SIMULADOS PELO MODELO CPC	40
3.3.4	DADOS DE REANÁLISE	41
3.4	MÉTODOS	42
3.4.1	VALIDAÇÃO DO CPC	42
3.4.1.1	PADRONIZAÇÃO DOS DADOS	42
3.4.1.2	MÉTRICAS ESTATÍSTICAS	42
3.5	MÉTODO DE ANÁLISE DE AGRUPAMENTO	43
3.6	DIAGNÓSTICO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO	44
3.7	ANÁLISE CLIMATOLÓGICA	45
3.7.1	CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	45
3.7.2	CLIMATOLOGIA DOS PADRÕES SINÓTICOS	45

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1	VALIDAÇÃO DO CPC	46
4.2	ANÁLISE DE AGRUPAMENTO	48
4.2.1	AGRUPAMENTOS COM 2, 3, 4, 5, 6 E 7 GRUPOS EM ANGOLA	48
4.3	DIAGNOSTICO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO	50
4.3.1	REGIME PLUVIOMÉTRICO MENSAL PARA AS 15 ESTAÇÕES	50
4.4	ANÁLISE CLIMATOLÓGICA	53
4.4.1	CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL	53
4.5	ANÁLISE DOS PROCESSOS DINÂMICOS E CONVECTIVO EM ESCALA SINÓTICA	57
4.5.1	ANALISE DOS PADRÕES DE CONVECÇÃO, ROL E LINHAS DE COR- RENTE DURANTE OS MESES MAIS CHUVOSOS (OUTUBRO A MARÇO) NO PERÍODO DE 1979 A 2013 SOBRE ANGOLA.	57
4.5.2	PADRÕES DE CONVECÇÃO, ROL E LINHAS DE CORRENTE DURANTE OS MESES MAIS SECOS (ABRIL A SETEMBRO) NO PERÍODO DE 1979 A 2013 SOBRE ANGOLA.	58
4.5.3	PADRÕES DE CONVECÇÃO, ROL E LINHAS DE CORRENTE DURANTE VARIAÇÃO SAZONAL.	61
5	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Na região tropical a precipitação pluvial (PP) é o elemento meteorológico de maior importância, pois é o que apresenta maior variação em termos de mudanças sazonais. Em média menos de 1.000 mm de PP por ano atinge a maior parte da África, (THORNTON, 2014). Ainda segundo o autor, os acumulados de PP tendem a diminuir com a distância do equador e são insignificantes no norte do Saara, no leste da Somália e no sudoeste do continente, especificamente a Namíbia e África do Sul. Entretanto, os maiores acumulados de PP encontram-se na costa leste de Madagascar; partes das terras altas da África Oriental; grandes áreas da bacia do Congo e de Angola; partes da África Ocidental costeira, incluindo Libéria, Serra Leoa e Guiné (TIQUE, 2015).

A influência da convecção tropical constitui-se um fator importante para ocorrência de PP na África. Portanto, os períodos mais secos (responsáveis por picos inferiores ou vales) e ocorrência de tempestades (responsáveis por picos positivos) estão atingindo a África com crescente frequência. Milhares de pessoas dependem da agricultura de subsistência, da análise dos máximos e mínimos de PP sobre o território africano, tornando-se assim, de fundamental importância social e econômica. Sobre a África de uma maneira geral, um dos mecanismos mais importantes na ocorrência de extremos de PP é a zona de convergência intertropical (ZCIT), em que a maior parte da PP ocorre no verão austral (ROUAULT et al., 2013). O deslocamento desse sistema ocorre aproximadamente em 20°S, entretanto, é razoável que os maiores índices pluviais ocorram próximo às regiões situadas nessa latitude (TALACUECE, 2018).

A PP tem vários efeitos na economia do país, tanto a sua falta, como o excesso da mesma, isso em qualquer lugar do mundo. Pesquisador como, Barrios (2010) confirma que o impacto direto das pp na África, é no setor agrícola, uma vez que a água é de fundamental importância na produção agrícola. A variabilidade da PP durante uma estação de cultivo geralmente se traduz em variabilidade na produção agrícola, (THORNTON, 2014). A PP é importante na vida dos africanos, porque ela sustenta mais de 150 milhões de pessoas na África Austral (FOSTER et al., 2015).

Os impactos das mudanças climáticas influenciam o território africano desde 1970. O relatório mais recente do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, Change (2014) sugere que a África será o continente mais afetado. O relatório indica ainda que, em 2020, a agricultura pode reduzir em até 50% em alguns países africanos. O IPCC prevê ainda que o trigo possa desaparecer da África até 2080 e que a produção de milho - um item básico - cairá significativamente na África Austral, (GUMO, 2017). As alterações nos padrões de PP com ocorrência de períodos de seca e enchentes de forma intensa e frequente em várias regiões do mundo indicam sinais de mudanças climáticas, estes impactos nos

padrões climáticos, afetam a disponibilidade de água, a garantia alimentar, o plantio agrícola, pecuária, saúde e infraestruturas, diminuindo de modo geral o desenvolvimento no continente africano,(Change, 2014).

Há possibilidade de uma relação entre eventos quentes e frios do Atlântico Sul tropical e PP de verão em Angola, esses eventos originam-se como ondas de Kelvin equatoriais em resposta a modulações dos ventos alísios sobre o Atlântico Sul, os eventos quentes do Atlântico Sudeste influenciam não apenas as PPs costeiras do sudoeste da África tropical, mas também há uma relação significativa entre as chuvas frontais de inverno no sudoeste da África do Sul e os padrões de temperatura da superfície do mar (TSM) de latitude média, envolvendo mudanças na corrente de jato e ocorrências de tempestade nas latitudes médias, onde a circulação tropical é caracterizada por uma série de variações não sazonais que variam em sua frequência (KOUSKY and CHU, 1978).Existem estudos que fizeram análises detalhadas sobre a PP na África em um âmbito geral. Porém, ainda não foram feitos estudos que exploram a dinâmica dos principais sistemas atuantes na África e como estes modulam a PP em Angola. Por outro lado, de acordo com o Jornal de Angola (2019), as inundações que atingiram várias províncias de Angola provocaram 76 mortos e danos avaliados em milhões de dólares em 2019.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Avaliar o regime de precipitação pluvial(PP) em Angola e a dinâmica dos sistemas meteorológicos atuantes, verificando como esses estão associados às variações no padrão de precipitação pluvial.

1.1.2 Específicos

1. VALIDAR os dados de precipitação pluvial (PP) utilizando dados do Centro de Pesquisa Climática (CPC) na representação da precipitação pluvial (PP) em Angola;
2. ANALISAR padrões de ciclo mensal de precipitação pluvial (PP) em Angola, através do método de análise de agrupamento;
3. DIAGNOSTICAR o regime pluviométrico nas regiões de Angola, distinguindo a ocorrência do período seco e chuvoso;
4. VERIFICAR os padrões sazonais da precipitação pluvial (PP) sobre Angola com dados do Centro de Pesquisa Climática (CPC);

5. ANALISAR padrões dinâmicos e termodinâmicos na escala sinótica com dados de reanálise do NCEP, que influenciam na distribuição espacial da (PP) sobre a região de Angola.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É apresentado um embasamento teórico que visa esclarecer a região de estudo, bem como os principais sistemas meteorológicos que influenciam na região. Entretanto, as características climáticas do continente Africano também são devidamente apresentadas.

2.1 Aspectos Gerais do Continente Africano

África é um continente cuja extensão territorial é compreendida em torno de 30,3 milhões Km^2 . Essa vasta extensão territorial perde apenas para Ásia e América, com 20,3% da área total da terra firme do planeta, além de sua vasta característica territorial o continente é cercado pelos Oceanos Atlântico (oeste) e Índico (leste), além dos mares Mediterrâneo (norte) e Vermelho (nordeste). A África é o segundo continente mais populoso da Terra (atrás da Ásia) com cerca de 900 milhões de habitantes, representando cerca de um sétimo da população do mundo, e 54 países independentes; apesar de existirem colônias pertencentes a outros países de fora desse continente, principalmente ilhas, por exemplo, Madeira, pertencente a Portugal, Ilha de Ascensão, pertencente ao Reino Unido, entre outras (DECICINO et al., 2006).

A África é cortada por três grandes paralelos terrestres: Equador, Trópico de Câncer e Trópico de Capricórnio, além do Meridiano de Greenwich. Cerca de 80% de seu território fica na zona intertropical, sendo que a maior parte de suas terras localiza-se no hemisfério oriental (leste) e só uma pequena parte delas no hemisfério ocidental (norte). O relevo africano se caracteriza pelo predomínio de imensos tabuleiros (planaltos pouco elevados) e considerável altitude média - cerca de 750 metros. As regiões centrais e norte são ocupados, em sua totalidade, por planaltos erodidos, constituídos de rochas muito antigas (DECICINO et al., 2006).

2.2 Climas Africanos

Christopherson and Rightor (2012) afirmam que a África possui sete diferentes formações climáticas, através das quais podem sofrer a influência de diferentes fatores tais como: a latitude, o relevo, as correntes marítimas e as zonas de alta e baixa pressão. A latitude determina o nível de insolação (o Local, a hora do dia e a época influencia a insolação) e o relevo influencia a temperatura quanto maior altitude menor será a temperatura contribuindo para o aumento da umidade nas regiões mais altas. As correntes marítimas causam um efeito parecido com o relevo contribuindo para o aporte ou diminuição de umidade em determinadas regiões. As zonas de pressão alteram os ventos, podendo

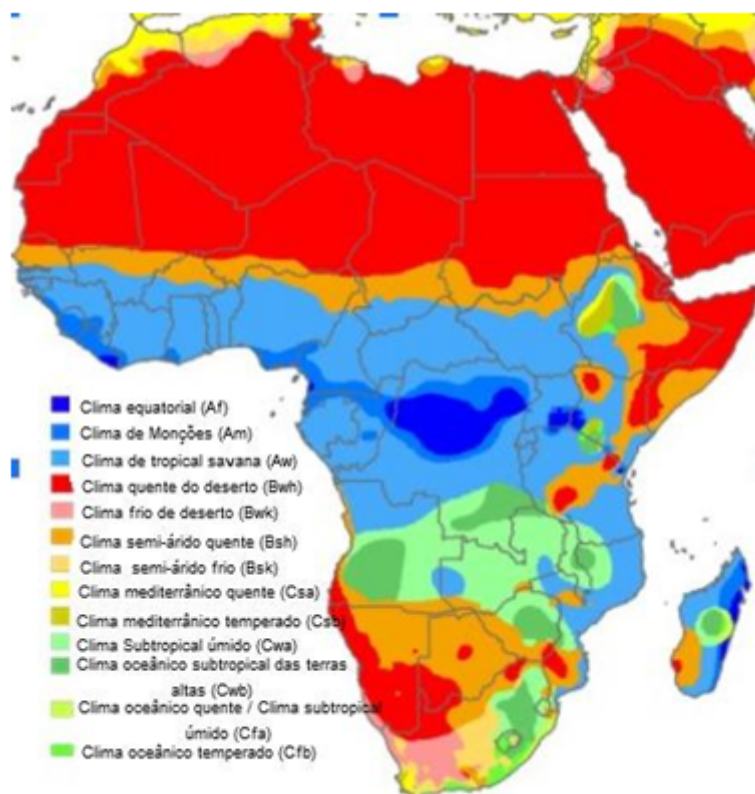


Figura 1 – Principais tipos de clima para África segundo a classificação de Köppen para Angola. Fonte: NGOLO (2014), adaptado de PEEL et al. (2007),

contribuir para que certas regiões apresentem um clima árido ou úmido. Assim, essa ampla característica define o aumento ou diminuição do transporte de umidade. Pequenas porções do norte e do sul da África são dominadas por climas subtropicais. Entretanto, o clima mediterrâneo de verão é predominante na região Sul da África Figura 1.

Logo, esse clima é resultado da combinação de correntes marítimas frias e zonas de alta pressão com verões quentes. As temperaturas médias estão avaliadas em torno de 27 °C, com PP inferior a 100 mm. O inverno tem temperatura média em torno de 10 °C, com acumulado de PP máxima de 750 mm. Por outro lado, o clima subtropical úmido de invernos secos é predominante no leste da África caracterizado pelo comportamento das monções. Nesse contexto, os ventos úmidos sopram em direção ao continente no verão, porém, os ventos secos impedem a chegada de umidade no inverno. O litoral leste do Sul da África apresenta o clima marítimo da costa oeste, com verões e invernos com constantes quedas de temperatura devido o efeito da brisa, ocasionando chuvas bem distribuídas durante o ano.

O clima desértico tropical e subtropical quente predomina nas regiões norte e sudoeste, no Saara e Kalahari/Namíbia, respectivamente. As temperaturas durante o dia, chegam à 50 °C, e durante a noite - 5 °C, com a média anual de pp menor ou igual à 300 mm. Entretanto, esses baixos índices pluviométricos e a amplitude térmica diária

resultam da baixa disponibilidade de umidade encontrada nessas regiões. Assim, o deserto do Kalahari/Namíbia sofre a influência de uma corrente marítima fria, que faz com que a umidade condensa antes de adentrar o continente. O clima-árido subtropical quente se apresenta nas periferias desses desertos, com verões secos de temperaturas altas, e invernos úmidos e brandos, (VOGL et al., 2009).

Segundo a classificação de Köppen, Peel et al. (2010) afirmam que o clima de floresta tropical também é encontrado no centro do continente, onde observam um alto índice pluviométrico superior a 2.000 mm e temperaturas altas, média em torno de 24 a 27 °C durante todo o ano, praticamente. O clima de savana tropical domina o centro africano, com seus verões chuvosos, influência da ZCIT, invernos secos, alta pressão subtropical, e temperaturas com pouca variação durante o ano, médias de 27 °C. Globalmente, o tipo de clima mais comum por área terrestre é o BWh (14,2%, deserto quente), seguido por Aw(11,5%, savana tropical).

Pohl et al. (2018), classificaram a África Austral como uma região semi-árida particularmente exposta a mudanças no clima. Com pp variável em toda a região a cada ano e, os períodos chuvosos e secos, ocorrem regularmente (SOUTHERN, 2001). A África do Sul geralmente recebe p p nos meses de verão, de novembro a março, exceto as costas sudoeste e sul (DIOP et al., 1998). A área da África Austral pode ser dividida em três principais regiões de pp, primeiro a costa leste e a maior parte do interior, que é principalmente uma região de pp de verão, a costa oeste e adjacentes interior é uma área de p p de inverno e, por fim, a costa sul geralmente recebe pp ao longo do ano (BLAMEY and REASON, 2012). Há uma variação proeminente de leste a oeste na pp, Van Heerden and Taljaard (1998), contribuíram para Karoly et al. (1998), com as partes ocidentais da Namíbia e África do Sul recebendo apenas uma média de menos de 200 mm por ano, enquanto o centro e norte de Moçambique, bem como Angola e Zâmbia recebendo mais de 1.000 mm por ano. Há também uma área seca sobre o Vale do rio Limpopo ao longo da fronteira África do Sul / Zimbábue, (Karoly et al., 1998). A contribuição da pp dos meses do final do verão (janeiro a março) é regularmente superior a 40% da pp anual na África Austral, (SOUTHERN, 2001).

Nicholson et al. (2018), estudaram amplamente a variabilidade da pp na África Austral. No entanto, existem poucas pesquisas dedicadas exclusivamente a sistemas climáticos tropicais no sul da África, mesmo sabendo que esses sistemas causam pp extremas e freqüentemente resultam em danos extensos devido a inundações, no geral, o avanço das previsões nas regiões tropicais tem sido muito lenta devido aos dados restritos e a um conhecimento limitado sobre esses sistemas climáticos. Existe, portanto, uma clara necessidade de pesquisa em sistemas climáticos tropicais, especialmente no sul da África. (CHIKOORE et al., 2015).

2.3 Aspectos Gerais do Território de Angola

Krug (2006), observou que no território angolano predomina um relevo constituído por um maciço de terras altas, limitado por uma estreita faixa de terras baixas cuja altitude varia entre o nível do mar e 200 metros ao longo de toda a faixa costeira ocidental. Acima dos 200 metros de altitude em direção ao centro do continente, surge um relevo constituído por “degraus” associados à planaltos e montanhas, aumentando gradualmente de altitude até atingir o planalto central, cujas altitudes médias variam entre 1.200 e 1.600 metros.

A Corrente de Benguela (CB) é uma corrente oceânica fria do Atlântico Sul, paralela à costa oeste da África Meridional, predominantemente de sul para norte, desviando-se para oeste, em direção à linha do Equador, onde se torna parte do giro Oceânico subtropical do Atlântico Sul. Dois ramos da corrente continuam ao longo da costa, e um deles se une a corrente de Angola na frente Angola-Benguela, existe variabilidade sazonal na velocidade da corrente. O ramo ocidental do mesmo giro é a corrente do Brasil para além dos alísios de sudeste, a CB é dominada por um sistema de afloramento costeiro. O afloramento é um fenómeno que ocorre quando as águas superficiais são deslocadas para alto mar, devido à interação entre o vento e a rotação da Terra, fazendo com que as águas profundas e frias, ricas em nutrientes, afloram à superfície da água, (Azevedo, 2006)

A Corrente de Benguela tem importância mundial na regulação do clima. Situa-se numa importante encruzilhada da "correia transportadora do Oceano", ou seja, o processo de circulação termoclina, pelo qual as águas superficiais quentes circulam pelos oceanos. Outro fenómeno que ocorre no sistema da Corrente de Benguela, nas costas da Namíbia e Angola, é o chamado Niño de Benguela, análoga ao El Niño do Pacífico, embora menos intenso e menos frequente. As primeiras descrições desta corrente foram feitas por (Rennell, 1832). Nesse contexto, existem outras correntes desempenham um papel importante no clima de Angola. Por exemplo, na área entre a plataforma continental e a Dorsal de Walvis 50% da água vêm do Atlântico Central, 25% do Índico e 25% da corrente das Agulhas. Enquanto a Corrente de Angola (CA) é caracterizada por águas quentes e move-se de norte a sul. A CA é caracterizada como um fluxo correndo geralmente para o Sul de 9°S a 16°S, que penetra até 250-300 m de profundidade cobrindo as regiões da plataforma continental e do talude. Essa corrente tem velocidades na superfície excedendo 50 cm/s. Aparentemente ela é formada por uma ramificação sudoeste da contra-corrente sul equatorial e por águas da ramificação norte da Corrente de Benguela que se dirigem para o Sul, (Azevedo, 2006).

2.4 Clima do Território de Angola

A orografia peculiar do país permite a região uma climatologia particular que se caracteriza no litoral por ter temperaturas altas e um elevado índice de umidade

que favorece um clima tropical, moderado ao longo da planície costeira pela influência da corrente de Benguela. No país, ocorrem climas do tipo Aw (clima de savana), Cwa (Subtropical úmido), Cwb (Subtropical de altitude), BSh (Semiárido quente) e BWh (Desértico quente) segundo a classificação climática de Köppen. No interior a umidade do ar diminui com a altitude e as temperaturas, com máximas de 26°C na estação chuvosa, podem diminuir até aos 5°C de mínima. No planalto a PP varia de 380 mm no Sul x 1.270 mm na província de Cabinda. Nas regiões tropicais, a PP média anual é variável, mas diferencia das demais variáveis como radiação, temperatura e evapotranspiração potencial (Huntley, 2019). Em Angola têm-se duas estações uma estação seca (inverno) e uma estação chuvosa (verão). O norte do país especificamente próximo a latitude de 12°S aproximando-se ao interior do país, a época da PP tem uma duração de 7-8 meses, de outubro até o final de maio. A estação seca abrange os meses de junho, julho e agosto. No litoral, a PP é geralmente mais fraca em relação as outras zonas do país. Nas latitudes correspondentes de entre 12°S à 15°S, há uma região no interior em que a época da PP tem a duração de 5-6 meses, de outubro a março; no sul dessa região e em todo o litoral abaixo dos 12°S a época da PP tem a duração de apenas 3-4 meses, de Dezembro até março. Em Angola, a PP média anual diminui com o aumento da latitude ao sul e geralmente, da faixa litoral para o interior do país, (Azevedo, 2006). A média da PP anual é superior a 1.400 mm a norte, inferior a 700 mm a sul e inferior a 200 mm na faixa costeira a sul de Benguela. Em determinadas regiões, a estação chuvosa é dividida por um curto período de seca conhecido por "pequeno inverno" que pode ocorrer de fins de Dezembro a inícios de Fevereiro. A temperatura média anual mais baixa é de 15°C a -20°C e registra-se na zona do planalto e ao longo do deserto do Namibe. A temperatura média anual mais elevada varia de 25°C a 27°C e ocorre na região da bacia do Congo e no filamento sub-litoral do Norte do País. A pp em Angola é influenciada pelo centro de altas pressões do Atlântico Sul, pela corrente fria de Benguela e pela altitude local. A PP média anual decresce de norte a sul e aumenta com a altitude e quando está mais distante do mar, (POMBO and DE OLIVEIRA, 2015).

A média anual mais elevada da PP é de 1.750 mm no planalto central, e a mais baixa é 100 mm na região desértica do Namibe (sul). Assim, o clima do planalto central norte é tropical úmido com pp média anual que varia de 1.250 mm a 1.750 mm. No sul do planalto o clima é tropical seco. No litoral, a zona norte de Angola é úmida, em direção ao sul, o clima é semiárido, com pp médias anuais abaixo de 100 mm. Entretanto, a medida que se caminha do litoral para o interior verifica-se que a linha costeira, é relativamente estreita, e segue numa região de transição com altitudes médias, atingindo regiões mais elevadas. Essa ampla configuração, é compreendida levando-se em consideração a localização geográfica, a topografia e as influências das correntes marítimas (FAUSTO, 1971).

(Maiato, 2016) classifica o clima em Angola em quatro tipos principais:

- a) **Tropical úmido:** ocorre principalmente no norte e nordeste do País, incluindo a província de Cabinda e a faixa litoral entre Benguela e Quelo, caracterizado por pp anuais superiores a 1.200 mm, sendo que a maioria desta ocorre entre setembro e maio, com valores máximos de pp em torno de 300 mm no mês de abril. O período de estiagem ocorre entre junho e agosto. Nesse tipo climático, a temperatura média anual do ar é superior a 22 °C.
- b) **Tropical semi-úmido:** ocorre imediatamente ao sul do clima tropical úmido, localizado na zona central sul e leste do país, aproximadamente entre as localidades de Quibala (província Kwanza Sul) – Sacacama (Província Moxico) – Luena (província de KuandoKubango) – Lubango (província da Huila), com pp anual variando entre 750mm e 1.250 mm, com pp máxima de 250 mm no mês de março. Esse tipo climático apresenta período muito seco entre junho a setembro, com médias térmicas anuais variando de 20°C a 22°C para o leste e 18°C a 20°C na zona central, requerendo irrigação para a exploração agrícola.
- c) **Tropical seco:** ocorre ao longo do litoral desde o norte do município de Quelo até ao centro do município do Lobito. As precipitações pluviométricas anuais variam entre 500mm e 700 mm, com máxima mensal de 130 mm em abril e mínima em maio 30mm. Nesse contexto, o período seco compreende os meses de maio a setembro. Esta zona é considerada semiárido e também requer irrigação complementar para a exploração agrícola. A temperatura média anual varia entre 24°C e 26°C, diminuindo até 20°C em direção ao sul nas províncias de Cunene e Kuando – Kubango.
- d) **Tropical desértico:** esse tipo climático localiza-se na região litoral sudoeste do país entre o norte do município de Lobito e sul do município do Tombua. Esta faixa é mais larga para sul e apresenta pp média anual inferior a 250 mm, com máxima de 100 mm no mês de março, à altura de Benguela, e um período seco entre maio a setembro. A temperatura média anual varia de 20°C a 22°C. O extremo sul é ainda mais seco com pp médias anuais superior a 100 mm entre janeiro a abril e longo período seco entre maio a dezembro. As temperaturas médias anuais variam entre 18°C e 20 °C.

O clima angolano varia entre monção tropical no Norte e terras altas no centro do país, e savana tropical em partes do sul. Mais a sul e a oeste, junto ao Deserto do Namibe, também há áreas com um clima árido e semiárido. A pp segue o ciclo anual da ZCIT que oscila sobre o equador, variando entre 50 mm e 250 mm mensais de pp entre outubro e abril. Os meses de Inverno (junho, julho e agosto) são muito secos e raramente se verifica diminuição de pp em qualquer zona do país. Apesar de tropicais, as temperaturas medidas em Angola variam, entre 20°C (Inverno) e 25°C (Verão) porque a maioria do país se situa em altitudes elevadas, (NGOLO, 2014)

De acordo com Azevedo (2006), existem fatores cruciais sobre a determinação do clima de Angola: A migração da região da Frente Intertropical (ITF) e/ou ZCIT; o deslocamento do anticiclone do Atlântico Sul associado à fase fria da Corrente de Benguela; deserto Namíbia e a altitude da região central.

Angola, é influenciado por fenômenos climáticos comuns à região tais como, os ventos alísios, o efeito da brisa na zona costeira, a ZCIT. Além destes, os fatores climáticos tais como: o relevo, com grandes altitudes na região de planalto mais ao centro do país, as correntes frias de Benguela mais ao Sul e a proximidade do deserto da Namíbia, e a Sudoeste outros componentes que influenciam no clima de Angola, (NGOLO, 2014).

Coelho (2002) destacou que a CB, parte do giro anticiclônico subtropical do atlântico sul, percorre paralelamente a costa sudoeste africana, em direção norte-noroeste. Parte da CB continua para norte ao longo da costa, geralmente atingindo os 13 °S - 14 °S. Como resultado da interação entre as águas da CB e da Angola Current (AC) forma-se uma zona frontal denominada "Frente Angola - Benguela", (CRAWFORD et al., 1987). A posição média desta zona frontal situa-se entre os 14 °S e 17 °S. A zona frontal pode mudar de posição de acordo com as estações do ano, isto é, "move-se" mais para norte no período frio e mais para sul no período quente, (CRAWFORD et al., 1987). De acordo com Van Bennekom and Berger (1984) a zona sob a influência da CB é dominada pelo sistema de afloramento costeiro - correntes ascendentes de águas frias e ricas em nutrientes, o afloramento na região sul, de Angola atinge o seu máximo em agosto – setembro, resultando na intensificação da produtividade primária .

A estação de monitoramento mais antiga em Angola é João Capelo, instalado em 1867 na capital de Luanda. A partir de 1940, foi feito um esforço significativo para criar uma rede estruturada de monitoramento de pp que atingiram 145 estações no final de 1940 e 371 estações nos finais dos anos 1960. Em 1974, havia 465 estações com mais de 5 anos de registros completos, mas a guerra civil que se seguiu à independência do país enfraqueceu este esforço e apenas 18 estações, localizadas nas principais cidades permaneceram em operação, que estão dispostas (POMBO and DE OLIVEIRA, 2015).

2.5 Sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Tropical de África

2.5.1 Zonas de Convergência

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS), são os principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Tropical, sendo a ZCIT um dos sistemas meteorológicos mais importantes para a região tropical.

A ZCIT, é um centro de baixa pressão que circula no globo terrestre próximo ao equador, a de cerca de 5°N e 5°S, os ventos alísios de nordeste e ventos alísios de sudeste

convergem para uma zona de baixa pressão. É formada pela convergência de ar quente e úmido de latitudes acima e abaixo do equador. Esta região também é conhecida como Frente Intertropical, (FIT) ou Zona de Convergência Equatorial, (ZCE). O aquecimento solar na região força o ar a através da convecção, o que resulta em abundância de precipitação, (Azevedo, 2006). Esse sistema está associado à atividade convectiva, correntes ascendentes de ar e, resulta na formação de nebulosidade e ocorrência de precipitação. A região sob a ação da ZCIT é identificada pela presença de aglomerados convectivos, um dos principais mecanismos de aquecimento da atmosfera ocasionado, principalmente, pela liberação de calor latente e pela interação entre radiação e nebulosidade. Desta forma, a compreensão do comportamento da ZCIT torna-se fundamental para o entendimento da circulação geral da atmosfera e das características do regime pluviométrico na região equatorial. Por exemplo, considera-se que a ZCIT é um dos principais sistemas que afeta a estação chuvosa no norte do nordeste brasileiro, (MOLION and BERNARDO, 2002).

Na África, a ZCIT está localizado ao sul do Sahel em cerca de 10°S, despejando chuvas na região até ao sul do deserto do Saara, (Azevedo, 2006). Para Peel et al. (2010), a região central africana tem influência dos climas tropicais. O clima tropical de monções ocorre em uma pequena parte do litoral oeste da África, com uma estação seca e outra chuvosa, e temperaturas altas. Essa formação climática sofre com as variações de zonas de alta pressão e da ZCIT. Quando a ZCIT atua, há uma grande quantidade de precipitação pluviométrica.

O posicionamento da ZCIT tem um efeito importante nas chuvas anuais na África Austral e nas condições climáticas gerais na África do Sul, a ocorrência de chuvas na África é dependente, principalmente, da movimentação da ZCIT, sendo que essa se move para o Hemisfério Norte durante os meses de junho, julho e agosto, trazendo chuvas para Angola a partir do mês de setembro quando essa se encontra sobre o território angolano (Figura 2), (PULNEV et al., 2012).

Segundo Molion and Lucio (2013), a ZCIT é formada pela convergência dos ventos Alísios de nordeste e de sudeste, são massas de ar quentes e úmidas, que escoam dos anticlones subtropicais sobre o Atlântico em direção às latitudes equatoriais em ambos os hemisférios. Em seu ciclo anual, a ZCIT se movimenta meridionalmente, aproximadamente entre 10°N e 3°S e, a FIT é resultante da convergência do escoamento de uma massa de ar seco do anticiclone do norte da África com o escoamento de massa de ar úmida de sudoeste que se origina no anticiclone do atlântico sul, durante os meses de verão no sul da África, quando a ZCIT fica mais ao sul, geralmente existe uma baixa pressão tropical / subtropical de baixo nível que se estende para o sul do continente atingindo a África do Sul.

A influência da convecção tropical é considerada como um dos fatores importantes pela ocorrência de pp na região sul da África (SA), no período de dezembro a fevereiro

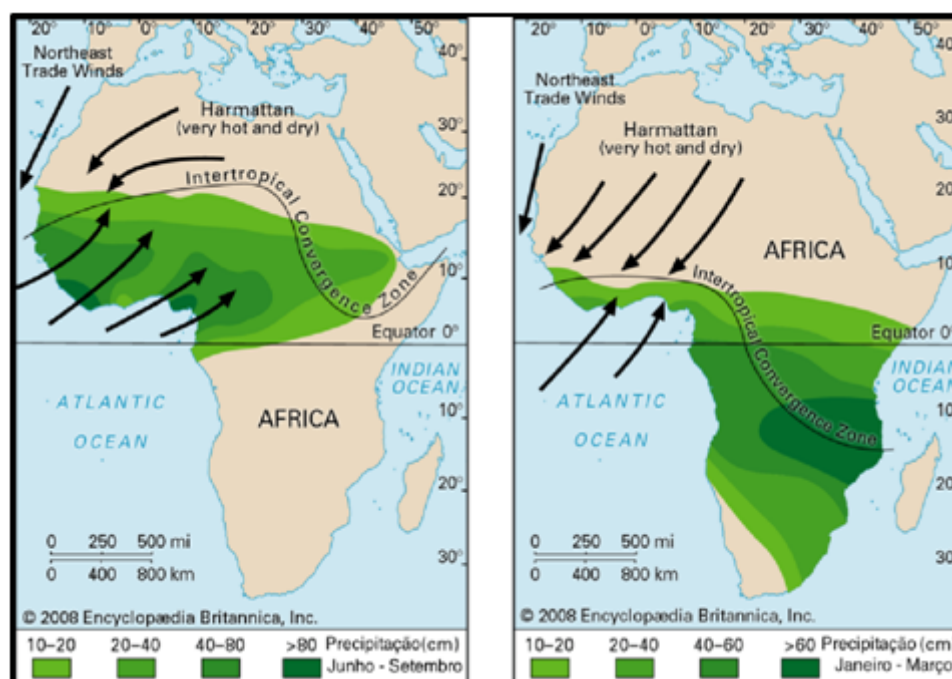


Figura 2 – Posicionamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical no continente africano. A esquerda (direita) corresponde ao Inverno (Verão) no hemisfério sul. Fonte: adaptada de (PULNEV et al., 2012)

pelo fato de a ZCIT se posicionar mais á sul, (TIQUE, 2015). De acordo com (Wondzell, 2001), a região convectiva nesta faixa do continente Africano se estende até próximo à latitude 20°S. Observaram três principais fluxos em níveis baixos, sendo eles responsáveis pelas condições de tempo e clima naquela região. Na Figura 3 observam-se três fluxos: (1) fluxo de sudeste, (2) fluxo de nordeste e (3) fluxo de oeste. Para o período de dezembro, janeiro e fevereiro. O fluxo de leste, é proveniente do oceano Índico, deslocando para o continente, tendo origem da divergência em superfície causada pela Alta Subtropical do Oceano Índico (ASI), de acordo com a posição da ASI, esse fluxo pode variar de leste para sudeste, (MCHUGH and ROGERS, 2001).

Segundo Behera and Yamagata (2001), o fluxo de sudeste sobre o continente ocorre quando a ASI se posiciona mais a sul, em torno da latitude de 35°S, e tem relação com variações da temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região subtropical do Índico, o que ilustra o surgimento do padrão de dipolo de TSM na região subtropical do oceano Índico. As condições favoráveis a formação de sistemas de baixas pressões com implicações no estado de tempo onde incidem nuvens de grande extensão vertical “cumuliformes” é gerada pela convergência que ocorre na região continental entre os fluxos de nordeste e leste/sudeste (TIQUE, 2015). O fluxo de oeste ou corrente de oeste se estende até a República de Angola e a República Democrática do Congo, tem a sua origem na convergência entre o fluxo equatorial e a borda sudeste da alta subtropical do oceano atlântico sul, (MCHUGH, 2006). As trajetórias dos três fluxos foram vistas em níveis baixos

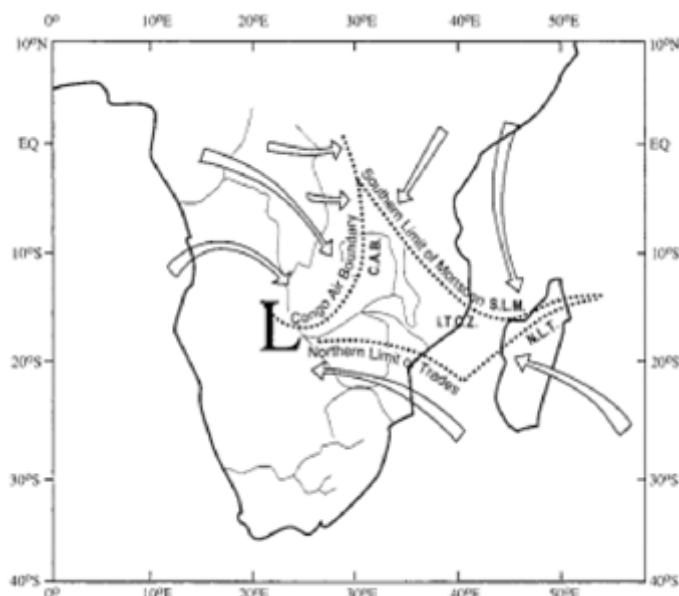


Figura 3 – Fluxos predominantes próximos em superfície e zonas de convergência sobre a região SA/SEA; A letra “L” (LOW em Inglês) representa o centro de baixa pressão, neste caso, sobre a região da Angola e Congo que se forma no período úmido. Fonte: adaptada de MCHUGH and ROGERS (2001)

sobre a região SA/SEA, o fluxo de leste/sudeste (oceano Índico Tropical e Subtropical), o fluxo de nordeste (oceano Índico tropical) e o fluxo de oeste (oceano Atlântico Tropical) estão associados a algumas regiões oceânicas, Sendo eles responsáveis pelo transporte de umidade para a região continental. Entretanto, as variações na intensidade e direção dos fluxos podem ter efeitos sobre o tempo e clima. Nessa mesma região, são formados sistemas de baixas pressões associadas ao cavado equatorial, sobre a região continental para além da ZCIT, (HIRST and HASTERATH, 1983). No entanto, bandas de nebulosidade são observadas nesta região, associadas às calhas tropicais-temperadas (TTTs) constituindo sistemas sinóticos importantes para a ocorrência de precipitação pluviométrica,. Por outro lado, no período de verão observa-se uma região de convergência sobre o Índico, seguida de aumento da precipitação pluviométrica que se estende desde a costa sudeste da região,. Assim, o vento zonal é o principal fator responsável pela convergência nesta região, devido o enfraquecimento da parte ocidental do ASI. A ZCIS algumas vezes apresenta-se deslocada para nordeste resultando no padrão de precipitação pluviométrica de dipolo, (Todd and Washington, 1999).

2.5.2 Frente Intertropical-(FIT)

No contato entre duas massas de ar de regiões de origem diferentes, forma-se uma superfície de descontinuidade, conhecida como superfície frontal. Essa descontinuidade é uma zona de transição, estreita e inclinada, na qual os elementos meteorológicos como

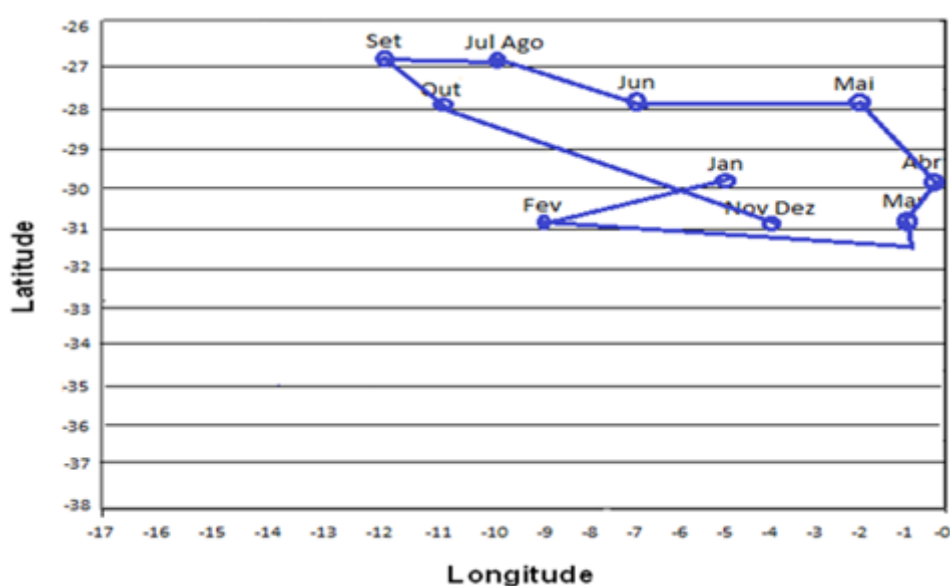


Figura 4 – Deslocamento longitudinal das altas subtropicais para a fase quente da ODP 1976-1998. Fonte: Adaptado de Musk (1988)

pressão, temperatura, vento e umidade variam de maneira inesperada. A linha ou zona de contato da superfície frontal com a superfície do solo, ou qualquer outro plano horizontal, é chamada de Frente (MACRON et al., 2014).

Musk (1988) analisou a estação chuvosa de julho-setembro no Oeste da África, ele observou que o ciclo anual de precipitação pluviométrica na região é o resultado do avanço sazonal para norte da descontinuidade intertropical devido ao escoamento equatorial quente, úmido e instável de sudoeste que se desloca para norte através do oeste da África, de março a julho (Figura 4), que é profunda sobre o Golfo da Guiné/Costa do Atlântico, mas rara ao norte, sobreposta por ventos continentais secos do Saara de nordeste para sudoeste, produzindo sérias consequências climáticas como secas e enchentes.

2.5.3 Anticiclone do Atlântico Sul-AST

No campo da pressão à superfície do globo constata-se isóbaras fechadas, com o mesmo centro ou não, existindo uma área onde a pressão é maior ou menor que outro ponto à sua volta. Os núcleos com maior pressão são denominados centros de alta pressão, centros anticiclônicos ou anticiclones. Os de menor pressão são chamados de centros de baixa pressão, centros ciclônicos ou ciclones, (VAREJÃO et al., 1999).

Ao longo dos oceanos, são desenvolvidas células diferentes que se manifestam como altas no campo de pressão à superfície e denominados como anticiclones no fluxo padrão da baixa troposfera também chamado de centros de alta ou simplesmente de altas subtropicais, são formados dentro dos cinturões de alta pressão nos subtrópicos dos dois hemisférios, (HASTENRATH and GREISCHAR, 1991). Os centros das AST, ramos

descendentes das Células de Hadley, em direção aos polos deslocariam por causa da redução do gradiente de temperatura (pressão) Equador-Polo. Deste modo, as trilhas dos ciclones extratropicais “stormtracks” e os jatos subtropical e polar se deslocaram mais para o lado polar mudando a distribuição espacial da precipitação pluvial,(FLOHN, 1981).

Teissereng e Bort(1883) foram os primeiros a identificar e definir o comportamento do ciclo anual das temperaturas da superfície do atlântico (TSA) a partir de mapas mensais da pressão média ao nível do mar-PNM. Rawson (1908) analisou o movimento dos centros de pressão, através de cartas sinóticas diárias durante um período de 66 anos entre 1841 e 1906, elaboradas para a África do Sul (Cape Town e Durban), percebeu que o movimento das TSA é caracterizado por uma oscilação cíclica latitudinal que ocorre tanto no sul quanto à norte do equador. Esta oscilação cíclica latitudinal mostra a existência de uma variabilidade interdecadal na posição geográfica das TSA do Atlântico. Mostrou também que as TSA seguem a marcha aparente do sol com as mudanças da declinação solar, complementando um ciclo de 19 anos, ou seja, 9,5 anos de deslocamento entre sua posição extrema norte e extremo sul.

As altas subtropicais (AST) são de núcleo quente com circulações fechadas em todos os níveis, podendo se estender até a alta troposfera. No hemisfério norte localiza-se nos oceanos Atlântico norte e do Pacífico norte em torno de 30°N. No hemisfério sul localiza-se sobre os oceanos atlântico sul, do Pacífico sul e do Índico sul próxima a 25°S (Figura 5). As altas subtropicais (AST) estão ligadas às estruturas da circulação geral da atmosfera sofrendo variações de intensidade e de posição, exercendo influência sobre o tempo e clima regionais (HASTENRATH and GREISCHAR, 1991).

A oscilação cíclica das altas subtropicais com o período de ocorrências de secas e enchentes de lagos e rios sobre a América do Sul, Austrália e sobre a África Central foi associada por. A partir de estudos anteriores sobre a América Central, Caribe e África subsaariana, onde maiores acumulados de precipitação pluviométrica ocorrem entre maio e junho, e o período mais seco ocorre entre julho e agosto, nestas regiões a distribuição espacial da precipitação associada ao deslocamento das altas subtropicais, apresenta uma progressão menos acentuada para o norte do que para sul, durante a passagem do inverno para o verão (HASTENRATH and GREISCHAR, 1991)

A oscilação decadal do Pacífico-ODP pode ocasionar variabilidade nos centros das altas subtropicais por causa das teleconexões, considerando que o oceano pacífico ocupa um terço da superfície terrestre e que a TSM é condição de contorno inferior mais importante para atmosfera. Observou-se um exemplo de quando ocorreu uma das maiores mudanças de fase da ODP, em julho de 1976, o sistema de baixa pressão das Aleutas (pacífico norte) se intensificou e se deslocou para leste. Ao mesmo tempo, as TSM tornaram-se mais baixo no oceano pacífico central norte e mais quentes no oceano pacífico leste, (BERNARDO and MOLION, 2004).

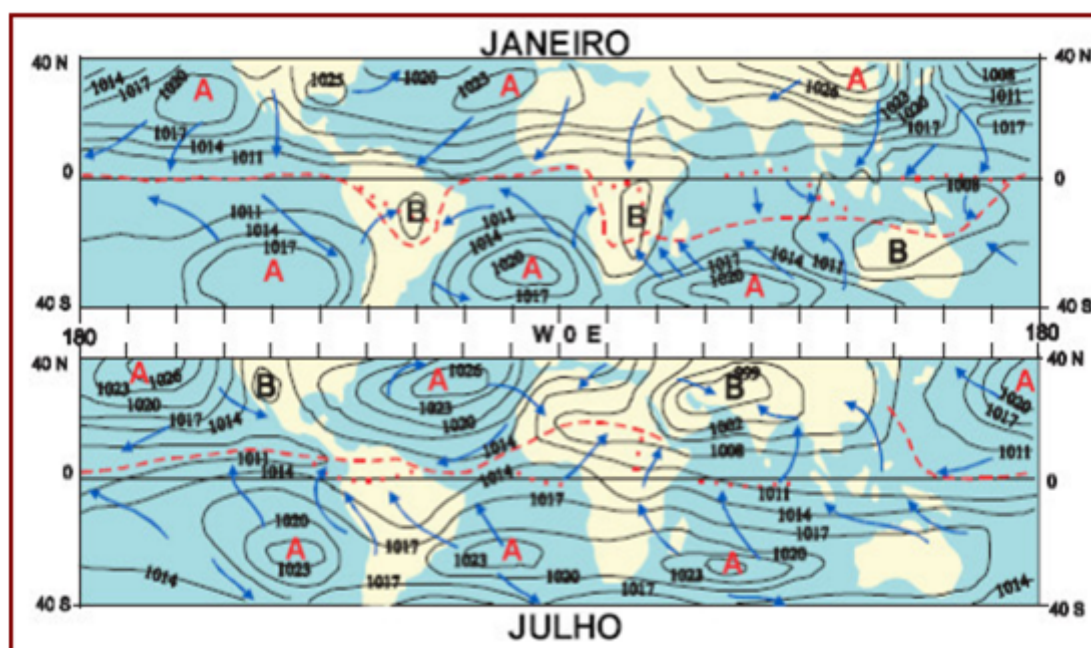


Figura 5 – Distribuição média temporal da pressão ao nível médio do mar. São indicados os centros de alta (A) e baixa (B) pressão bem como os ventos predominantes à superfície (setas). Fonte. POMBAL, (2016), adaptado do VAREJÃO, 1999.

2.5.4 Baixa de Angola

Howard et al. (2020), definem abaixa de Angola como um sistema semi-permanente de baixa pressão associado à circulação ciclônica. É facilmente identificado na climatologia de dezembro-fevereiro da altura geopotencial próxima à superfície. O sistema está centrado no leste de Angola a cerca de 13°S e sul de Angola em outubro, e começa a se fortalecer em janeiro e fevereiro e se estende aos países vizinhos. A abaixa de Angola, está associado à convergência do fluxo de umidade que se origina dos oceanos Atlântico e Índico, modula o transporte de umidade para o subcontinente. A baixa pressão de Angola tem sido reconhecida como área de convergência de umidade ciclônica que é uma das características da precipitação pluviométrica no sul da África, (Munday, 2017). Provavelmente por causa da escassez de dados de circulação na Zâmbia ocidental e no leste de Angola devastado pela guerra, os estudos sobre a baixa circulação fechada de Angola permaneceu questionável para os pioneiros do clima da África Austral que descreveram a ampla zona de convergência na qual tende a se desenvolver na fronteira do Congo e também como a fronteira do Zaire, (FAUCHEREAU et al., 2003)

Taljaard (1972), estudou os períodos úmidos e secos com base em dados pluviômetros sul-africanos, e descobriu que os períodos úmidos estão associados a fortes circulações da Baixa de Angola nos dados de reanálise do NCEP-2 do que períodos secos. Munday (2017), mostraram que em algumas regiões do sul da África, 40 Em um estudo recente, Pohl et al. (2018) descobriram que uma gradual mudança na posição da Baixa de Angola, seja

um deslocamento norte-sul ou leste-oeste, pode ter um impacto significativo na distribuição da precipitação pluviométrica associadas a estes sistemas climáticos. Existe a probabilidade das mudanças futuras na baixa de Angola impactar e influenciara pp no sul da África. Rodríguez-Fonseca et al. (2015) observaram em vários conjuntos de dados de reanálise de 1982 a 2013 um fortalecimento recente da Baixa de Angola, examinando tendências na pressão média ao nível do mar e ventos na superfície. Rodríguez-Fonseca et al. (2015) descobriram que isso pode estar associado ao aquecimento da TSM ao longo da costa de Angola em conjunto com uma diminuição da afluência costeira no leste do Atlântico Sul no final do século XXI, com um modelo climático regional representaram projeções do clima da África Austral, pode estar relacionada a redução da estação chuvosa sobre o Malawi ligada a um fortalecimento das Baixas continentais, incluindo a baixa de Angola, em abril, associada ao aumento do aquecimento da superfície devido às mudanças climáticas antropogênicas.

Todd and Washington (1999), descobriram que uma Baixa térmica ideal semelhante a Baixa de Angola atua como uma Zona raiz para uma Zona de convergência terrestre análoga à zona de convergência do sul da Índia (SICZ), a manifestação média no tempo da TTTs, existem evidências de que a Baixa de Angola pode ser um precursor da formação da calha tropical-temperada (TTT), que fornece uma quantidade de pp representativa em toda a região da África Austral. A Baixa de Angola permite o transporte para o sul de vapor d'água atmosférico dos trópicos, de fundamental importância para o desenvolvimento de TTTs.

Compreender os mecanismos da Baixa Angola permite a avaliação baseada em processos de modelos climáticos para reduzir a incerteza em torno de projeções futuras de mudanças regionais na pp levando em consideração a sua importância para o clima regional, no entanto os mecanismos que conduzem à Baixa de Angola devem ser bem compreendidos, a fim de aumentar a confiança nas projeções futuras pp da PP no sul da África. Atualmente, a dinâmica da Baixa de Angola, particularmente em uma escala de tempo sinótico, não é clara. Além disso, uma escassez de dados de medição na África tropical significa que a avaliação baseada no processo de modelos climáticos é freqüentemente mais viável do que as avaliações baseadas no desempenho, (SEDGWICK et al., 2018).

A descoberta de Munday (2017), aparenta uma distinção sazonal entre ocorrências do baixo calor de Angola e da Naixa tropical de Angola. Os resultados mostram que para o sul da África a convecção do ar seco é fortemente evidente em Angola de outubro a novembro, e a convecção úmida está presente de dezembro a março. Também é aparente a calha úmida de convecção do Canal de Moçambique e o calor seco de convecção de Kalahari. É claro que a Baixa de Angola se apresenta como Baixa de outubro a novembro e depois passa para a Baixa tropical de Angola durante dezembro, quando a estação chuvosa começa, e permanece como a baixa tropical de Angola até março.

A proposta de que alguns sistemas de Baixa pressão no sul da África são dinamicamente semelhantes às depressões das monções na Austrália e na Índia, na África Austral não mostram uma temperatura característica ou uma estrutura de uma monção típica, no entanto, sua amostra contém dados de dezembro a fevereiro e é realizada em uma área que se estende até 25° S. Portanto, a amostra contém baixas de calor de Kalahari e Angola, bem como baixas tropicais, o que seria esperado para obscurecer o sinal das depressões tropicais. Portanto, conclui-se que as Baixas tropicais na região de Angola estão dinamicamente relacionados as Baixas de monções que foram observadas na Austrália e na Índia. Ainda identificaram em média 12,5 sistemas de Baixa pressão de novembro a fevereiro no sul da África, em contraste com 25 no mesmo período na Austrália e 18 de maio a agosto na Índia. Mesmo antes de considerar o fato de que alguns desses sistemas apresentarem Baixas de calor, as Baixas Tropicais são menos comuns na África Austral do que nessas outras regiões, (HURLEY and BOOS, 2015)

Boos et al. (2015) verificaram que os eventos tropicais baixos são dinamicamente semelhantes aos sistemas de baixa pressão das monções que se formam ao longo das massas do continente tropical e os mecanismos que o impulsionam, são: baixas de calor, Baixas Tropicais e a brisa marinha anabática. Sendo que, a principal diferença entre as Baixas Tropicais da África Austral e as observadas em outros lugares foi propensa a permanecer na região de Angola. Este comportamento semistacionário é fundamental para o impacto que a baixa tropical de Angola tem sobre a baixa climatológica de Angola. Embora cada Baixa Tropical transite de 2 a 3 dias afetando diretamente o clima da área. Uma Baixa Tropical semistacionária pode afetar o clima por várias semanas, criando uma influência mais forte no clima sazonal.

2.6 Dipolo do Oceano Índico Tropical

O Dipolo do oceano Índico Tropical (DOIT), apresenta anomalias positivas de TSM no oeste do oceano Índico junto a costa leste do continente Africano e anomalias negativas na costa oeste da Indonésia. Observa-se também variações zonais dos gradientes de TSM e desta forma, são conhecidas duas fases do DOIT, sendo uma positiva (Figura 6), quando as anomalias positivas de TSM encontram-se próximo à costa leste da África e fase negativa quando estas anomalias positivas ocorrem próximo à costa oeste da Ilha de Sumatra, Indonésia, (SAJI et al., 1999).

2.7 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

O fenômeno de interação Oceano-Atmosfera conhecido como ENOS é caracterizado pela oscilação da pressão, temperatura e vento, com modificações no padrão de circulação geral das células de Hadley e Walker, alterando o padrão de pp em torno do globo. No

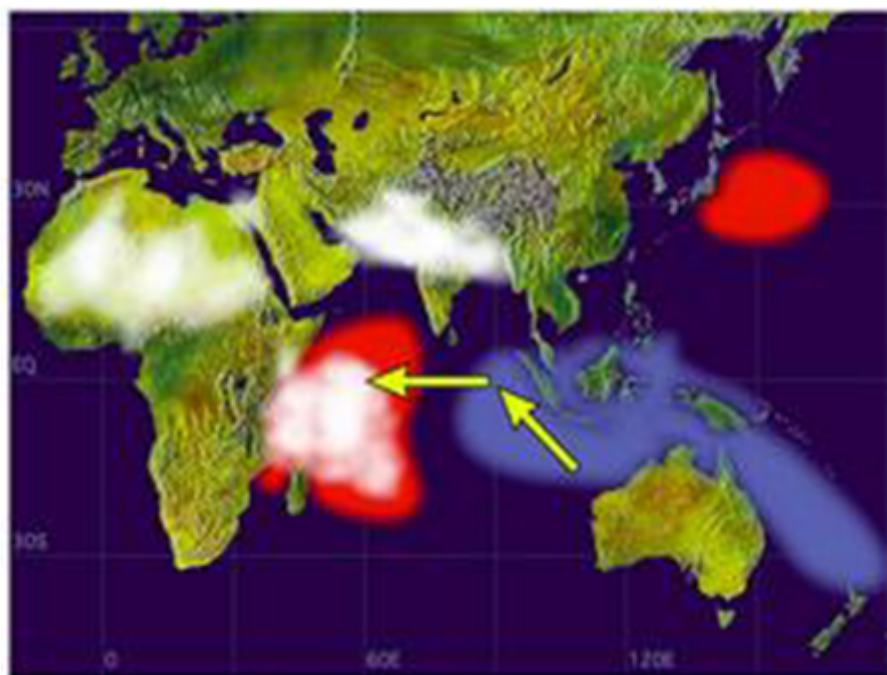


Figura 6 – Ilustração esquemática da fase positiva do DOIT; a cor vermelha indica regiões com anomalias positivas de TSM e cor azul, regiões com anomalias negativas e de branco para região de aumento de atividade convectiva. Fonte : Adaptado de SAJI et al. (1999)

geral, o ENOS é determinado através do Índice de Oscilação Sul (IOS), que é a diferença normalizada entre pressão ao nível do mar na região de Tahiti, no Pacífico Central (18 °S-150 °W) e Darwin, Pacífico Oeste (12 °S-130 °E), próximo à Austrália, (ROPELEWSKI and JONES, 1987). Além do IOS baseado em diferenças de pressão entre Tahiti e Darwin, foram introduzidos outros Índices para o monitoramento do ENOS baseados em anomalias de TSM em regiões do oceano Pacífico Tropical: Niño1 (80 °W-90 °W e 5 °S-10 °S), Niño 2 (80 °W-90 °W e 0 °S-5 °S), Niño 3 (90 °W-150 °W e 5 °N-5 °S) e Niño 4 (150 °E-160 °W e 5 °N-5 °S). Uma parte da região de Niño3 (Lado Oeste) e outra parte da região Niño 4 (Lado Leste) em conjunto formam a região Niño 3.4 (120 °W-170 °W e 5 °N-5 °S). Anomalias de TSM na região 3.4 são largamente usadas pelo CPC/NOAA para o monitoramento do ENOS (TRENBERTH and HOAR, 1997). Assim, foi introduzido o Índice Oceânico de Niño, em inglês Oceanic Niño Index- ONI, definido como média móvel de anomalias de TSM em três meses na região 3.4, por sua vez, o ONI é negativamente correlacionado com o IOS. A Figura 7 apresenta duas fases distintas do IOS: uma negativa e outra positiva:

Valores negativos de IOS correspondem a El Niño, em resultado, anomalias positivas de TSM ocorrem na região do oceano Pacífico Tropical, enfraquecimento dos ventos alísios, deslocamento da célula de Walker para leste e a intensificação do jato subtropical (WEBSTER and CHANG, 1988). Sobre a região SEA predomina um ramo descendente de ar. Enquanto que na fase oposta, La Niña, é acompanhada por anomalias negativas de

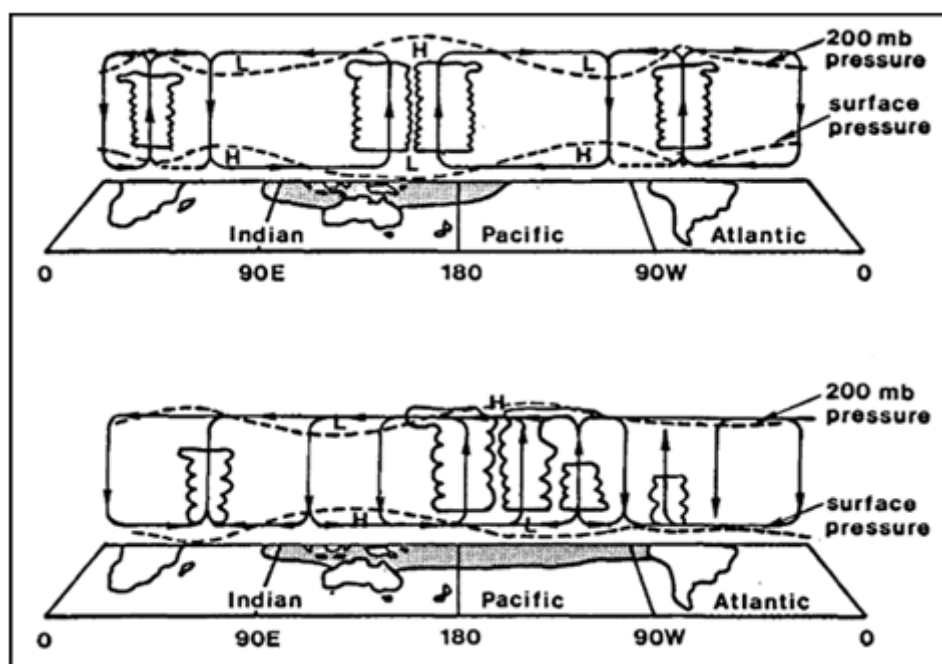


Figura 7 – Representação esquemática da circulação de Walker sobre o equador na fase positiva do ENOS-LaNiña (superior) e fase negativa, El Niño (inferior), Fonte: Adaptado de ROPELEWSKI and HALPERT (1987)

TSM na região do oceano Pacífico Tropical, ocorre enfraquecimento do jato subtropical; e alongamento e intensificação da célula de Walker. Um ramo ascendente é predominante na região SEA, resultando em forte convergência. Esta seria a razão pela qual, em anos de La Niña, haveria ocorrência de pp acima do normal, (ROPELEWSKI and HALPERT, 1987).

Efeitos do ENOS sobre a pp na região SA podem ser vistos a partir do padrão idealizado em estudos de escala global de ROPELEWSKI and HALPERT (1987), como pode ser visto na Figura 8 , onde dois padrões foram encontrados sobre duas áreas, sendo uma sobre a região leste equatorial da África (LEA) e outra sobre a região SEA.

A região LEA em anos de El Niño tende a apresentar condições de pp acima do normal no período de outubro do ano de início do evento a abril do ano seguinte. A região SEA tende a apresentar condições secas com diminuição de pp durante o período de novembro a maio do ano seguinte [May(+)] em anos de El Niño. Na presença de El Niño, sobre a região SEA ocorrem condições secas, resultando em déficits de pp, enquanto que na presença de La Niña, ocorrem condições úmidas resultando em excesso de pp (NICHOLSON and KIM, 1997). Segundo Rocha and Simmonds (1997), essa relação, não se mostra representativa, visto que, nem todos os anos de El Niño correspondem à escassez de pp, em anos de El Niño com muita pp, como é o caso do ano de 1997/98, e, a correlação entre a pp e o ENOS é significativa no verão, sendo fraca e menos significativa para o restante período.

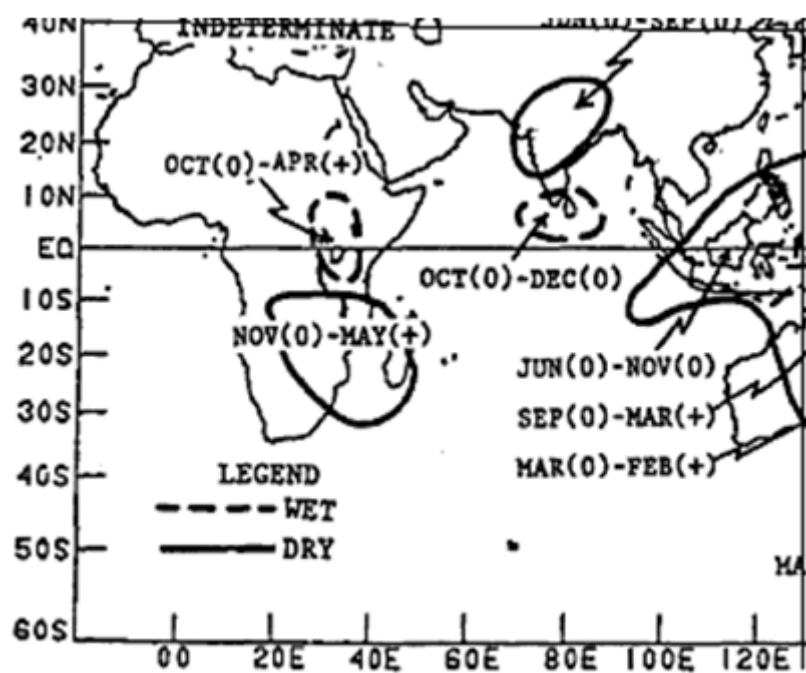


Figura 8 – Representação esquemática de regiões do continente Africano (LEA e SEA), onde o ENSO apresenta influência sobre a precipitação. Fonte: Adaptado de ROPELEWSKI and HALPERT (1987)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para o presente trabalho, foram utilizados Os softwares livres com código fontes abertos: 1) Quantum Geographic Information System versão 3.12 (QGIS v.3.12; <http://qgis.com/>) para a elaboração do mapa da área de estudo, o 2) Grid Analysis and Display System (GrADS); <http://cola.gmu.edu/grads/>) para o cálculo e plotagem de campos com diferentes variáveis meteorológicas, e o 3) R (<https://www.r-project.org/>) para estatísticas mais complexas e o 4) Python (<https://www.python.org/>) para plotagem de diversos gráficos devido ao seu relativo excelente layout (design). O Climate Data Operators (CDO): <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/>) para manipular e analisar diferentes dados climáticos devido a sua poderosa capacidade de suporte de diferentes formatos de dados (exemplo net CDF, GRIB). A seguir, a região de estudo é descrito detalhadamente os dados utilizados e os métodos empregados com suporte das ferramentas apresentadas acima, necessário para a concretização dos objetivos proposto para a presente pesquisa.

3.2 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado de maneira geral para o território Angolano localizado aproximadamente entre 18°S – 4°N de latitude e 12°E – 24°E de longitude. A República de Angola é um país da costa Ocidental da África Austral, cujo território principal é limitado a norte pela República Democrática do Congo, a leste pela Zâmbia, a sul pela Namíbia e a oeste pelo Oceano Atlântico (Figura 9). O seu território inclui ainda o enclave de Cabinda, através do qual faz fronteira com a República do Congo, a norte. Angola ocupa uma superfície de 1.246.700 km², tendo cerca de 16.9 milhões de habitantes. A moeda oficial é o Kwanza (Kz), a Língua oficial é o português, para além de diversas línguas nacionais (dialetos), sendo as mais faladas: O Kikongo, Kimbundo, Tchokwe, Umbundo, Mbunda, Kwanyama, Nhaneca, Fiote, Nganguela. A capital do país é a cidade de Luanda, localizada na costa do Oceano Atlântico, principal porto e centro administrativo de Angola, com uma população de aproximadamente 5,5 milhões de habitantes. O país está dividido em 18 províncias: Cabinda, Zaire, Uíge, Luanda, Bengo, Kwanza Norte, Kwanza Sul, Malanje, Lunda Norte, Lunda Sul, Benguela, Huambo, Bie, Moxico, Namibe, Huila, Cunene e Kuando Kubango. 163 municípios e 554 comunas, sendo os principais centros urbanos, além da capital Luanda, o Huambo, o Lobito, Benguela e o Lubango. Angola tem uma costa de 1.650 km, banhada pelo Oceano Atlântico. Os seus principais portos são: Luanda,

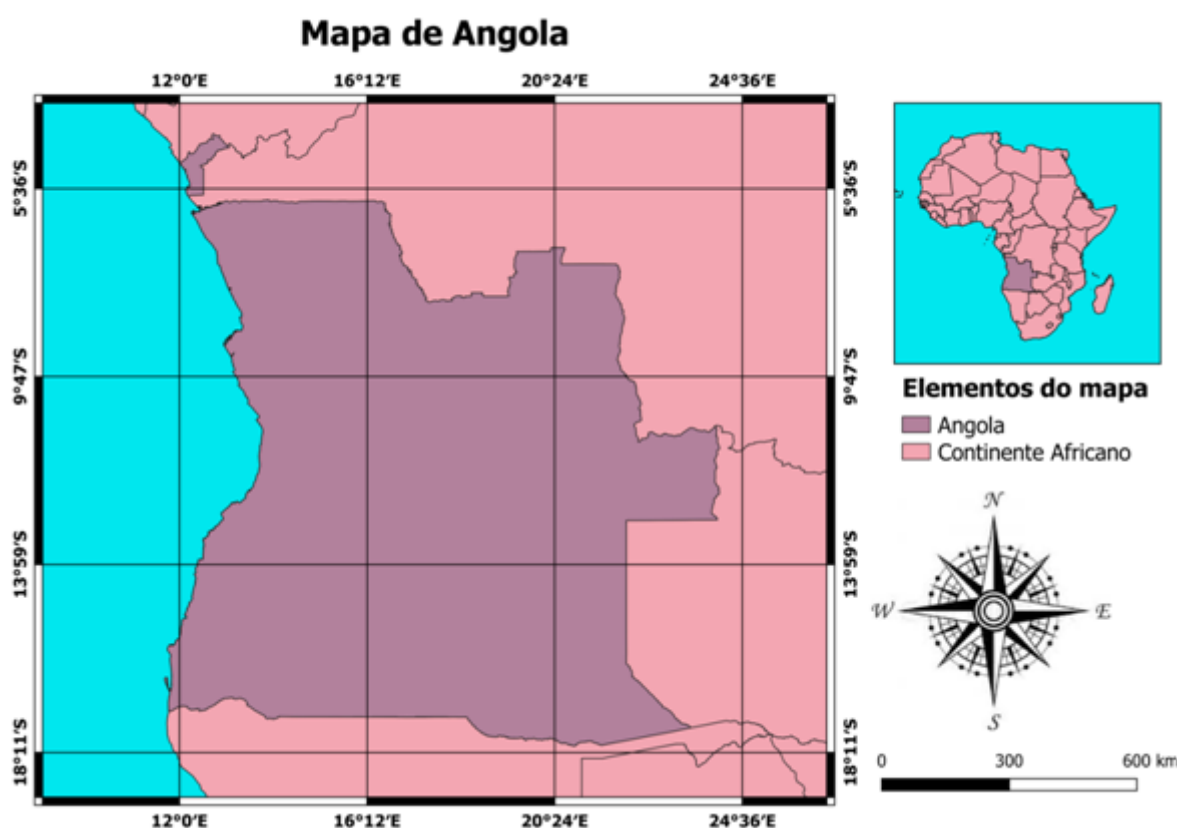


Figura 9 – Localização da região de estudo. Fonte: Autor, (2019)

Lobito e Namibe. Aproximadamente 65% do território estão situados numa altitude entre 1.000 e 1.600 metros (PLOWMAN et al., 1995) O ponto mais alto do território angolano está localizado na província do Huambo, em torno de 2.620 metros,(NGOLO, 2014).

3.3 Dados

No presente estudo, foram utilizadas 3 (três) fontes de dados de diferentes variáveis meteorológicas, tais como: 1)dados observacionais, 2)dados de modelos globais de centros meteorológicos e 3)dados combinados de modelos e observações.

3.3.1 Dados Observados

Os dados de precipitação observada foram obtidos dos pluviômetros das estações (automáticas/convencionais) do Instituto Nacional de Meteorologia de Angola (INAMET) para o período de Janeiro de 1979 a Dezembro de 2013. Para o período de interesse, a rede de estações meteorológicas do INAMET compreendeu um total de 15 estações distribuídas de forma heterogênea sobre todo o território de Angola. A Tabela 1 apresenta as estações meteorológicas com informações relevantes obtidas para o estudo.

Tabela 1 – Estações da rede do INAMET para o período de estudo (01/1979 -12/2013). O traço na coluna 6 (período) representa o não levantamento de informações

N.	Província	Estação	Lat(°)	Lon(°)	Período
#1	Cabinda	Cabinda	5.55°S	12.18°E	1979-1998/2000-2005/2011-2013
#2	Luanda	Luanda	8.81°S	13.38°E	1997-1999/2001-2004/2008-2011
#3	Namibe	Namibe	15.26°S	12.18°E	1979-1986/1997-2009
#4	Benguela	Benguela	12.60°S	13.40°E	1990-1995/2001-2008/2010-2013
#5	Moxico	Moxico	11.78°S	19.91°E	1999-2001/2005-2011
#6	Kwanza sul	Sumbe	11.20°S	13.85°E	1997-2002
#7	Kwanza sul	Porto Ambuim	10.42°S	13.45°E	1983-1990/1993-1995/2000-2007
#8	Malange	Malange	9.90°S	15.73°E	2006-2013
#9	Uige	Damba	7.58°S	15.00°E	2006-2011
#10	Kuando kubango	Kuito Cuanavale	15.30°S	19.30°E	-
#11	Zaire	M'banza Congo	6.26°S	14.25°E	-
#12	Lunda sul	Saurimo	9.66°S	20.38°E	-
#13	Huila	Huila	15.65°S	14.06°E	-
#14	Huambo	Huambo	12.80°S	15.75°E	-
#15	Bié	Kuito	12.38°S	16.93°E	-

É importante destacar que nenhuma estação meteorológica apresentou uma série de dados de pp consistente devido aos problemas encontrados pelas províncias Angolanas. As estações apresentaram séries de dados relativamente pequena e/ou com falhas ao longo dos anos porque a República de Angola, independente desde o ano de 1975, passou por conflitos, guerras civis que se estenderam por mais de 30 anos com o fim oficialmente no ano de 2002. Durante esses períodos turbulentos as estações meteorológicas, principalmente as do interior do país, não tinham a devida observação diária, manutenção e calibração dos instrumentos, totalizando assim 9 estações utilizadas das 15 estações gerais (Tabela 1). Para isso, foi necessário juntar períodos sem falhas (intervalos de tempo que apresentaram série de dados contínua) como pode-se observar na sexta coluna (período) da (Tabela 1). A Figura 10 apresenta a distribuição das estações meteorológicas da Tabela 1. Os pontos em azul representam as estações utilizadas no estudo (que não apresentaram falhas nas séries disponíveis de dados) e em vermelho as estações não utilizadas no estudo.

É de ressaltar que métodos de preenchimento de falhas de dados, como por exemplo o da média aritmética simples (BIER and FERRAZ, 2017), não foi utilizada, pois como poderá ser visto adiante, os dados observados das estações meteorológicas do INAMET foram utilizados para o fim único de validação de fontes de dados de modelos.

3.3.2 Dados de Precipitação de Modelos

Os dados de pp das estações do INAMET apresentaram problemas (falhas) em sua série temporal (Tabela 1) no âmbito operacional por razões políticas como descrito na secção 3.3.1. Países subdesenvolvidos geralmente dispõem de redes de observação de pp muito escassa devido ao alto custo de obtenção e manutenção das mesmas, o que faz

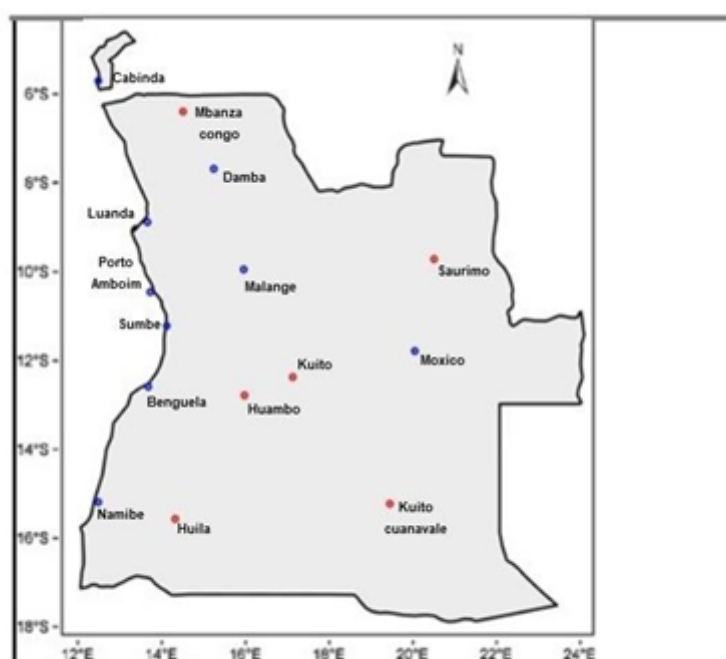


Figura 10 – Distribuição espacial das estações obtidas da rede do Instituto Nacional de Meteorologia de Angola (INAMET) durante o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2013. Os pontos em azul as estações utilizadas no estudo e em vermelho as descartadas

com que medidas indiretas e simulações numéricas de variáveis meteorológicas sejam de relevante importância (Levuzzani e Cattani, 2019). A Figura 11 exemplifica a escassa rede de observações de precipitação disponível para o presente estudo. Diante disto, para um estudo mais abrangente e fiável foi necessário à inclusão de dados de pp simulados por modelos numéricos globais.

3.3.3 Dados Simulados pelo Modelo CPC

Neste estudo, foi utilizada a análise do Centro de Pesquisa Climática (CPC) de precipitação diária global (obtidos em ¹) durante um período de 35 anos (janeiro de 1979 a dezembro de 2013) nas versões V1.0 e RT com espaçamento de grade horizontal de 0,5° de latitude x 0,5° de longitude (obtidos em ²).

No CPC, um conjunto de produtos de pp unificada foi criado com a finalidade de ter consistência e, desta forma, melhorar a qualidade combinando todas as fontes de informações disponíveis no CPC, interpolando dados e análise objetiva. As tendências de tempo foram calculadas a partir dos totais anuais e a significância foi calculada usando o

¹ ftp://ftp.Cpc.ncep.noaa.gov/precip/CPC_UNI_PRCP/GAUGE_GLB

² ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CPC_UNI_PRCP/GAUGE_GLB/RT/

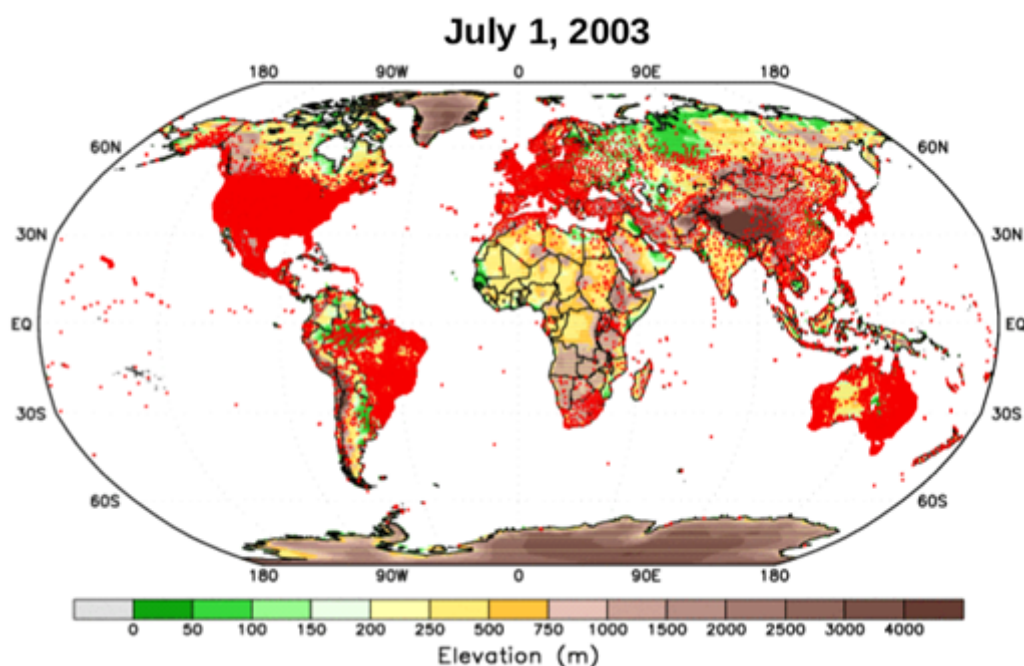


Figura 11 – Localização dos pluviômetros do sistema de global de telecomunicações (GTS) em 01 de julho de 2003 plotado sobre a topografia. Fonte: adaptado de Chenetal,(2008).

teste t-Student (Change, 2014)(Chen et al., 2008). A Figura 11 representa a distribuição espacial dos pluviômetros das estações meteorológicas utilizadas para a calibração (correção do viés) do produto do CPC, onde se pode observar uma fraca representação de estações no continente Africano em geral, como mostra a (Figura 11) não há pluviômetros do GTS sobre Angola.

3.3.4 Dados de Reanálise

Os dados de reanálise utilizados neste estudo foram os do modelo numérico global do National Centers of Environmental Prediction / National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEP/NOAA; <http://www.cdc.noaa.gov>). Esses dados estão dispostos com espaçamento de grade horizontal regular de 2,5° de latitude x 2,5° de longitude (KALNAY et al., 1996). As saídas dos dados do NCEP/NOAA são disponíveis com uma resolução temporal máxima de 6 horas e mínima de 1 mês (média mensal). No entanto, a resolução temporal adotada neste estudo foi a mensal, para as variáveis obtidas no modelo: 1) Radiação de Onda Longa (OLR em Inglês, W/m²); 2) Componentes zonais e meridionais do vento (em m/s) nos níveis padrões de 1000, 925, 850, 800, 700, 600, 500, 400, 300 e 200 hPa.

3.4 Métodos

A metodologia do presente estudo foi dividida em 5 (cinco) subtópicos. A primeira secção tratou da validação da PP do CPC, em seguida a descrição do método de análise de agrupamento, avaliação de períodos com picos máximos e mínimos de PP, a climatologia da PP sobre a região de estudo, e finalmente, os padrões dinâmicos e convectivos da escala sinótica que influenciam na distribuição da pp sobre a região de estudo.

3.4.1 Validação do CPC

Os pluviômetros das estações meteorológicas da rede do INAMET representam uma distribuição espacial com baixo número de estações, 15 estações, (Tabela 1 e Figura 11) como descrito na secção 3.3.1. Foi necessário utilizar os dados do CPC como base de estudo na carência de dados observacionais.

O desempenho dos produtos de PP de modelos globais varia de região para região (depende da região do globo), pois os mesmos dependem de condições regionais como a topografia e vegetação, (JENSEN and EPIFHANIO, 2011). Antes do uso do produto de pp do CPC foi necessário analisar o seu desempenho para a região de estudo. Para isso, foram utilizadas as informações dos pluviômetros da rede do INAMET (Tabela 1) a fim de validar os dados do CPC comparando ponto a ponto (informação da pp da coordenada do pluviômetro versus informação do pixel correspondente do produto do CPC). Para uma justa validação dos dados do CPC versus INAMET foi necessário primeiramente padronizar temporalmente as duas fontes de dados para de seguida utilizar técnicas matemáticas (métricas estatísticas) como apresentado detalhadamente a seguir.

3.4.1.1 Padronização dos Dados

Como descrito na Tabela 1, quarta coluna (Período), a série de dados observados de precipitação do INAMET estão dispostas de forma não sequencial (por motivos de falhas ou interrupções das informações). Foi necessário padronizar temporalmente as informações, equivalendo o mesmo período de cada estação do INAMET (Tabela 1) com os pontos de coordenadas correspondentes nos dados do CPC. Ressaltando, para cada ponto de coordenada de cada estação (INAMET) foram extraídas as informações do CPC e comparados através das métricas estatísticas mostradas a seguir.

3.4.1.2 Métricas Estatísticas

As métricas estatísticas utilizadas para a validação dos dados de precipitação do CPC em função das chuvas observadas da rede do INAMET foram: 1) Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) (Equação 3.1), 2) Viés (BIAS) (Equação 3.2), 3) Desvio Padrão (σ) (Equação 3.3) e 4) Coeficiente de Correlação de Pearson (ρ) (Equação 3.4).

Em Wilks (2011) apresenta a interpretação detalhada das métricas estatísticas da Tabela 2, que apresentou-se de forma resumida no diagrama de Taylor (TAYLOR, 2001). A Raiz do Erro Quadrático Médio corresponde à raiz quadrada da média das diferenças quadráticas entre a precipitação do CPC e a do INAMET (utilizado para medir a magnitude média do erro), o viés foi usado para calcular os componentes sistemáticos e aleatórios do erro do CPC. enquanto que o Desvio Padrão, é a média das diferenças quadráticas entre o CPC e o valor médio do INAMET (utilizado para medir a dispersão), Por fim, O coeficiente de correlação de Pearson descreve a concordância entre a precipitação do CPC e as observações do INAMET.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{is} - P_{io})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

$$Viés = d' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (3.2)$$

$$\sigma(x) = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x - x')^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x')(y_i - y')}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - x')^2] [\sum_{i=1}^n (y_i - y')^2]}} \quad (3.4)$$

Em que P, d e x são os valores de precipitação do CPC, y precipitação observada e o N o número total da amostra que corresponde aos meses para cada ponto de estação (Tabela 1). Como descrito anteriormente, essas métricas foram resumidas no diagrama de Taylor onde o desvio padrão foi normalizado. Os valores ideais são para as equações (01) e (02) igual a 0 (zero) e para as equações (03) e (04) iguais a 1.

3.5 Método de Análise de Agrupamento

A média climatológica mensal (ciclo anual) do período de 35 anos com dados do CPC foi calculada para a região de estudo utilizando o CDO. Essa informação foi utilizada para caracterizar as regiões homogêneas por meio da análise de agrupamento utilizando o software R. A análise de agrupamento inicialmente separa em grandes grupos as variáveis classificatórias através de uma medida de similaridade ou distância. As variáveis classificatórias são mensuradas em uma escala temporal por serem variáveis reais, no entanto, adota-se uma medida de distância com propriedades métricas usando a distância Euclidiana, (MIMMACK et al., 2001). Foram realizados testes com definições de vários números de grupos para a análise dos padrões de precipitação sobre a região de estudo e o melhor resultado representado foi usado. De acordo com Severo (2007), o método

hierárquico aglomerativo é um dos mais recomendados na construção de agrupamentos (KAUFMAN and ROUSSEUW, 2009). O método da variância mínima ou método de Ward, Ward Jr (1963) foi recomendado por (EDELROCK, 1979). Nesse método, a formação dos agrupamentos em cada estágio da hierarquia é avaliada pela soma dos quadrados dos desvios em relação ao centro de gravidade dos grupos. O método de Ward pode ser considerado uma generalização multidimensional do modelo da Análise de Variância que pode ser resumido como:

$$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{n_k} (X_i - \bar{X}_k)^2 + \sum_{k=1}^K n_k (\bar{X}_k - \bar{X})^2 \quad (3.5)$$

(A)
(B)
(C)

- (A) é a soma do quadrado dos desvios das observações em relação à média geral,
- (B) é a soma do quadrado dos desvios das observações dentro de cada grupo, em relação à média do grupo para todos os grupos e
- (C) é a soma do quadrado dos desvios das observações em cada grupo, com respeito à média geral. Além disso, $\bar{X}$ é a média geral, $\bar{X}_k$ a média do grupo k e X_i é o valor de uma dada observação.

Como descrito no começo desta seção, utilizou-se como variáveis classificatórias as médias mensais (ciclo anual) dos dados de precipitação em ponto de grade regular do CPC (0.5° lat x 0.5° lon).

3.6 Diagnóstico do Regime Pluviométrico

Para se fazer um diagnóstico da precipitação em Angola, é necessário identificar um ambiente favorável à ocorrência da precipitação, para avaliar o período com picos máximos e mínimos de precipitação. Utilizando o software GrADS, nos dados do CPC durante os 35 anos (01/1979 a 12/2013) foram extraídas as informações de cada ponto de coordenada que representa as estações do INAMET, apresentadas na Tabela 1 e Figura 12. Com essas informações extraídas foram gerados gráficos médios mensais (analisando separadamente as estações em cada agrupamento pertencente) e também campos das médias climatológicas mensais para análise da precipitação em Angola. Em seguida foi realizada uma análise da estação chuvosa e seca, onde se procurou mostrar o impacto das precipitações, principalmente aquelas associadas a sistemas meteorológicos sobre a região de estudo.

3.7 Análise Climatológica

3.7.1 Climatologia da Precipitação Pluviométrica

Para a descrição da climatologia da precipitação de Angola, foram gerados campos médios climatológicos sazonais calculando separadamente a climatologia (média aritmética simples) de cada estação austral, sendo essas a de verão nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, de outono os meses de março, abril e maio, de inverno os meses de junho, julho e agosto e de primavera os meses de setembro, outubro e novembro. Os cálculos climatológicos sazonais foram feitos utilizando o CDO e gerados os campos com o software GrADS. A matemática aprofundada utilizada na manipulação de dados no CDO são detalhados em (DOS SANTOS).

3.7.2 Climatologia dos Padrões Sinóticos

Com os dados de reanálise do NCEP/NOAA foram gerados campos dinâmicos e termodinâmicos no domínio entre $35^{\circ}\text{S} - 5^{\circ}\text{N}$ de latitude e $0^{\circ}\text{E} - 55^{\circ}\text{E}$ de longitude. Esses campos foram de linhas de correntes em baixos (1.000 hPa) e altos (200 hPa) níveis e campos filtrados de ROL (menor do que 245 W/m^2). Também foram gerados campos de convergência dos ventos em baixos níveis (1000 hPa). Afonso et al. (2016) apresenta detalhadamente as equações dinâmicas e termodinâmicas utilizadas para a geração dos campos na escala sinótica apresentado neste estudo.

Em geral, esses campos foram gerados no sentido de analisar a influência dos processos dinâmicos e convectivo, em escala sinótica, na representação dos padrões climatológicos mensais, sazonais e anuais da precipitação na região de estudo. Particularmente, os campos de linhas de correntes em baixos níveis (1.000 hPa) serviram para analisar a influência de sistemas de baixa pressão (confluência), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), dentre outros. Os campos de ventos em altos níveis para a análise de influência de sistemas como a Alta do Congo, escoamento zonal. Os campos filtrados de ROL serviram para analisar a influência da convecção nas chuvas sobre a região.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Validação do CPC

Os resultados das análises estatísticas na validação dos dados de PP do CPC em função da PP observada nas 09 estações meteorológicas do INAMET são apresentados na Tabela 2. Fazendo análise estatística entre os dados observados e estimados, verifica-se que: O viés negativo está indicando subestimativa dos dados, quanto mais negativo, mais há erro de subestimativa. E quanto mais o viés for positivo, mais há superestimativa dos dados de PP. Quando o viés se aproximar de zero, o dado está sendo bem representado, segundo Wilks (2011), este método mede a dispersão entre valor médio observado e o valor estimado. Na Tabela 2, observa-se que todas as estações de Angola utilizada no estudo, apresentaram erros sistemáticos com valores positivos e negativos. Os valores de viés mostram que o CPC subestimou a PP das estações entre -0,50mm / mês a -91,08 mm/mês (nas estações de Moxico, Malange e Uige) e superestimou entre 8,84mm/ mês a 52,67 mm/mês nas demais estações. Em geral o erro sistemático é resultado do uso de um equipamento não-aferido ou da utilização de técnica de medida não-coerente. Os resultados apresentam os valores estimados com desvios positivos em relação ao valor observado.

Tabela 2 – Resultados das métricas estatísticas para todas as estações de cada província de Angola para os dados mensais durante o período de 1979 a 2013.

N.	Província	Estação	Viés	Correlação	Desvio Padrão
#1	Cabinda	Cabinda	52.67289	0.3731567	1.292961
#2	Luanda	Luanda	9.106098	0.4517857	0.90430002
#3	Namibe	Namibe	8.849075	0.2883356	3.115999
#4	Benguela	Benguela	14.90945	0.4339395	0.9653521
#5	Moxico	Moxico	-0.5028409	-0.1573397	1568889
#6	Kwanza sul	Sumbe	10.74499	0.456636	0.9312449
#7	Kwanza sul	Porto Ambuim	10.46726	0.4909962	0.6790695
#8	Malange	Malange	-53.75759	0.4974697	0.38202
#9	Uige	Damba	-910801	0.6586239	0.45755253

Os valores de correlação representam o grau de relacionamento entre os valores de PP observados e estimado, esse parâmetro é representado pela letra “r”, seu valor varia entre -1 a 1, quanto mais próximo de 1 (um) melhor é a correlação entre o valor observado (INAMET) e estimado (CPC). Ainda na Tabela 2 observa-se valores baixos de correlação para quase todas as estações de Angola, exceto a estação de Uige com 65,8% considerado uma correlação moderada. Na coluna que mostra os valores de Desvio Padrão que é representada pela letra σ , observam que o valor com baixo desvio padrão indica que os pontos dos dados tendem a estar próximos da média ou do valor esperado. Já o alto

desvio padrão indica que os pontos dos dados estão dispersos (Moxico, com 15,68). Os valores de desvio padrão das estações de Cabinda, Luanda, Benguela e Sumbe mostram dispersão dos valores de PP com valores de 1,39; 0,90; 0,96 e 0,93, respectivamente.

A estação do Moxico chama atenção por apresentar valores negativos de viés e coeficiente de correlação, e também valores altos de desvio padrão. Os dados de PP dessa estação merecem uma avaliação mais detalhada, as fontes dos erros desses dados podem estar relacionadas à leitura errada do equipamento, calibração do equipamento ou processamento de dados da estação. Na literatura africana nada consta sobre a possível justificativa.

Aplica-se um diagrama de Taylor para avaliar as diferenças nos conjuntos de dados gerados mostrado na Figura 12. Em geral, os produtos de PP do CPC tendem a se agrupar próximos ao ponto de referencia dos dados observados. Pode-se observar que nas estações Luanda (2), Benguela (4) e Sumbe (6) apresentaram os melhores valores de desvio padrão normalizados. Quanto mais próximo os pontos estiverem maior o grau de similaridade entre eles. Para as mesmas estações as correlações entre o observado e estimado apresentam valores que ficam em torno de 40% a 60%. Analisando os valores de viés para Luanda (2), Benguela (4) e Sumbe (6) nota-se valores positivos, superestimando os dados de precipitação pluviométrica, porém estão bem próximos de zero, sendo o melhor representado.

As demais estações Cabinda (1), P. Ambuin (07), Malange (8) e Uige (9) estão mais afastadas do ponto de referência, indicando que os dados estão dispersos. A estação de Uige (9) foi a que apresentou o maior valor de correlação 60%, e as demais estações apresentaram correlação abaixo dos 60%. Os valores de viés para essas mesmas estações também apresentam um distanciamento grande do zero, indicando pouca representatividade. A fraca representação da PP observada do CPC para Angola não significa definitivamente que o CPC seja desprezível para a análise de PP em Angola, diversos fatores adversos e técnicos podem explicar a fraca representação do CPC, tais como:

(1) O período de guerra civil vivenciado em Angola durante aproximadamente 30 anos, descrito na secção 3.2.1, impossibilitou a um controle de qualidade dos dados das estações do INAMET, tais como manutenção dos pluviômetros e calibração dos mesmos, o que coloca em questão os dados de PP do INAMET que foram levados em conta como a referência no estudo de validação;

(2) A não inclusão de dados observados para a correção do viés do produto CPC, como mostra a Figura 13, o que nos dá produtos de chuva do CPC exclusivamente de simulação numérica. Embora os dados de PP do CPC não representaram razoavelmente os dados das estações do INMET por motivos que podem estar relacionados com as descrições dos pontos 1 e 2 mencionados acima, mesmo assim assumiu-se os dados do CPC para os estudos mostrados nas secções seguintes.

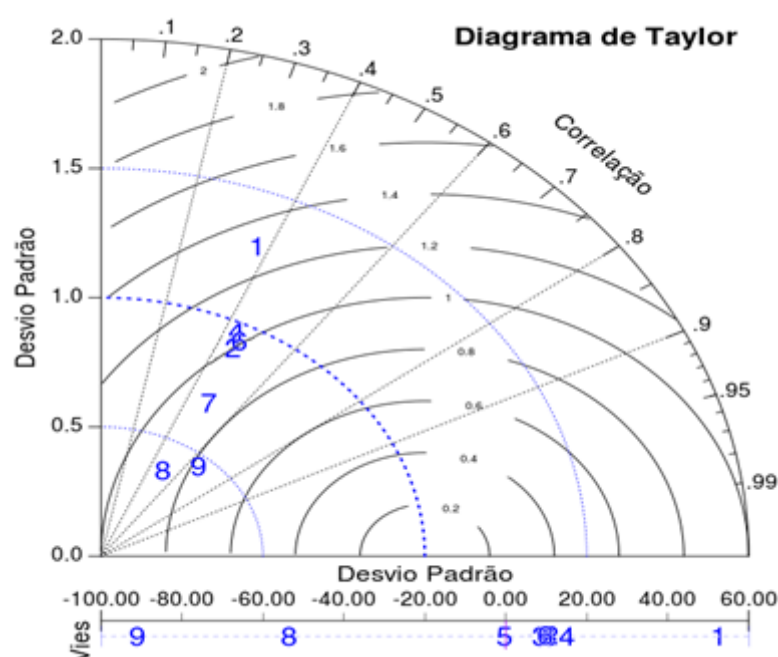


Figura 12 – Diagrama de Taylor para as estações de Cabinda (1), Luanda (2), Namibe (3), Benguela (4), Moxico (5), Sumbe (6), P. Ambuim (7), Malange (8), Uíge (9), para os dados mensais durante o período de 1979 a 2013.

4.2 Análise de Agrupamento

4.2.1 Agrupamentos com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 grupos em Angola

Em termos gerais, a classificação com dois grupos representa claramente a variabilidade sazonal sobre a região de estudo. Para três sub-regiões a análise de agrupamento basicamente mostrou a mesma variabilidade sazonal, no entanto, para a região no Hemisfério Sul surgiram 2 grupos com mesmo ciclo anual, diferenciando-se na intensidade da PP. A definição de 4 sub-regiões mostrou 3 regimes de chuva anual, a região norte com os máximos no outono e inverno. Nessa análise, a república de Angola apresenta 3 áreas de homogeneidade de PP, com períodos chuvosos e secos bem definidos. O setor norte angolano com PP é que ocorrem os maiores índices de PP. O centro-leste angolano apresenta maior volume de PP, (210 mm) durante o verão HS. O centro-oeste e sul a PP ficam abaixo de 70 mm durante todo ano, sendo os meses de julho, agosto e setembro muito seco. Na definição de 5 sub-regiões, as subdivisões foram as mesmas quando definidas as sub-regiões onde nota-se semelhança marcante com o agrupamento 4. A definição de 6 sub-regiões foi a ideal para a discriminação de diferentes regimes de pp anual, com 4 grupos distintos, onde a parte norte (região florestal) com picos de pp nos meses de abril e novembro (com média mensal de 131,59 mm/mês e 136,42 mm/mês, respectivamente), região centro-sudeste e região leste com pico de PP no verão, principalmente no mês de janeiro (com média mensal de 116,54 mm/mês e 216,94 mm/mês), respectivamente e a

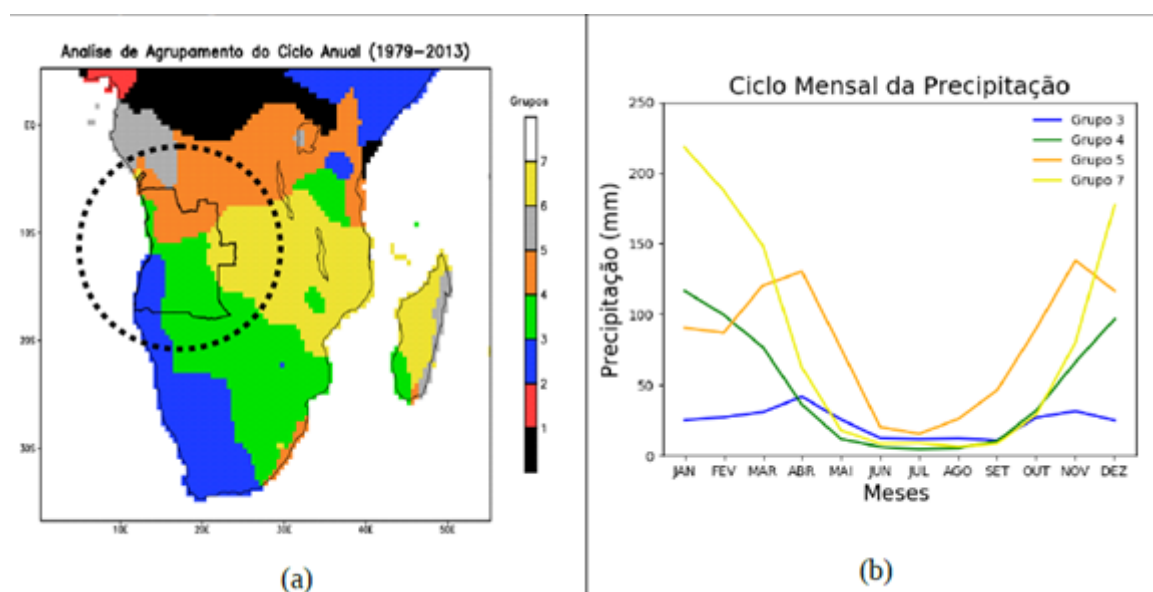


Figura 13 – Análise de agrupamento para a região da África Austral (a) e Ciclo Mensal de 4 grupos sobre Angola. Circo tracejado a região de estudo.

região sudoeste conhecida como uma zona desértica com pico máximo de pp no mês de abril (com média mensal de 41.62 mm/mês). Nesta análise de agrupamento observou-se que 4 grupos apresentaram 2 períodos: seco (outono-inverno) e chuvoso (primavera-verão) bem definidos, o que difere um do outro, são os acumulados de pp no decorrer do ano.

Analisando as áreas de homogeneidade de PP com 7 grupo mostra a única região que difere é o setor extremo-norte da região de estudo, com subdivisão da região em 4 grupos, Figura 13 (a). Os grupos 4 - 7 apresentaram 2 períodos secos (outono-inverno) e chuvoso (primavera-verão) bem definidos, o que difere um do outro, são os acumulados de pp no decorrer do ano. O grupo 3 apresenta carência de pp ($\leq 50\text{mm}$) durante todo ano, Azevedo (2006), chegou os mesmos resultados, e segundo eles a região no período seco é influenciada pelo Alto Centro Subtropical Pressões do anticiclone sul, que controlam a oscilação sazonal de os ventos alísios da influência marinha, a ventos marinhos e continentais característicos. No regime seco, na região norte, os ventos do leste são mais intensos. Durante o regime chuvoso, eles são mais paralelos costa, tornando-se ventos marinho. E no período chuvoso a região está sobre influência da ZCIT.

Decidiu-se terminar o teste dos sub-regiões na definição de 7 grupo, Figura 13, para Angola não teve diferença representativa com a definição de 6 grupos, com melhor resultado (melhores subdivisões de grupos) foi para 7 grupos na África Austral que representa 4 grupos para o território Angolano. Apenas um novo grupo (grupo 2) surgiu próximo a região equatorial. As restantes características mantiveram-se praticamente as mesmas.

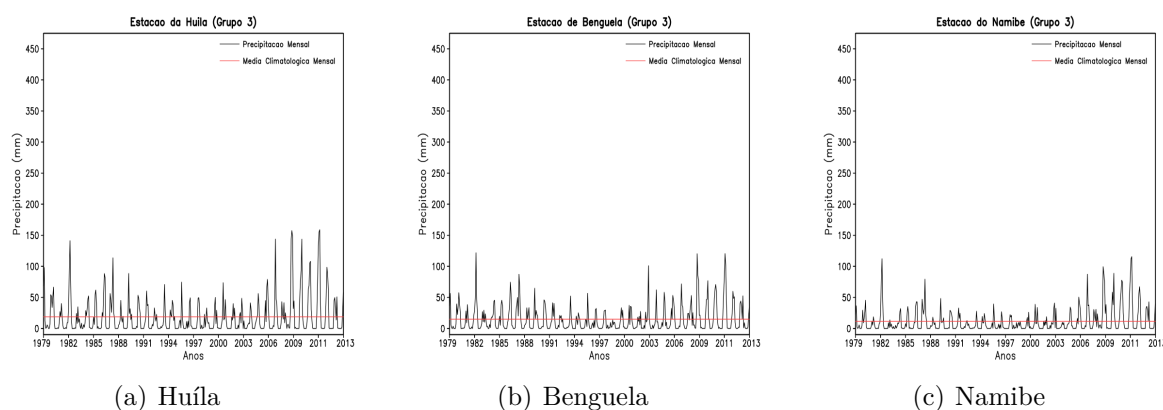


Figura 14 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 3.

4.3 Diagnostico do Regime Pluviométrico

4.3.1 Regime Pluviométrico mensal para as 15 estações

Nota-se na Figura 14 que as estações da Huíla, Benguela e Namibe (grupo 3), a estação Huíla, apresenta os maiores valores de acumulado, enquanto a estação do Namibe apresenta o menor acumulado. Ainda analisando a Figura 14 verificou-se que na estação de Huíla, os anos com picos máximos de PP foram 150 mm (2009 (El-Niño) e 2011 (neutro)) e 145 mm (1982, 2007 e 2010, anos de El-Niño), contraditoriamente os anos com pico mínimos (≤ 20 mm) foram (1981, 1983, 1986, 1990, 1995, 1998, 1999, 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 e 2012). Segundo o CPTEC, 2020 os anos de 1983, 1986 e 1998 tiveram formação de El Niño com classificação de moderado a forte. Os déficits de pp durante esses anos de devem estar associados ao El Niño, (CPTEC, 2020). Curtis and Hastenrath (1995), encontraram as condições de períodos secos e cálculos na maior parte da zona associada aos episódios do ENSO.

As estações do grupo 4 apresentam diferentes climas. As províncias do Moxico, Lunda Sul, Kuando Kubango localizados no setor leste do país apresenta climas subtropicais úmidos. As províncias do Bié e Huambo estão localizadas na região central do país com 2 estações: chuvosa (outubro a abril), e seco (maio a setembro), Figura 15.

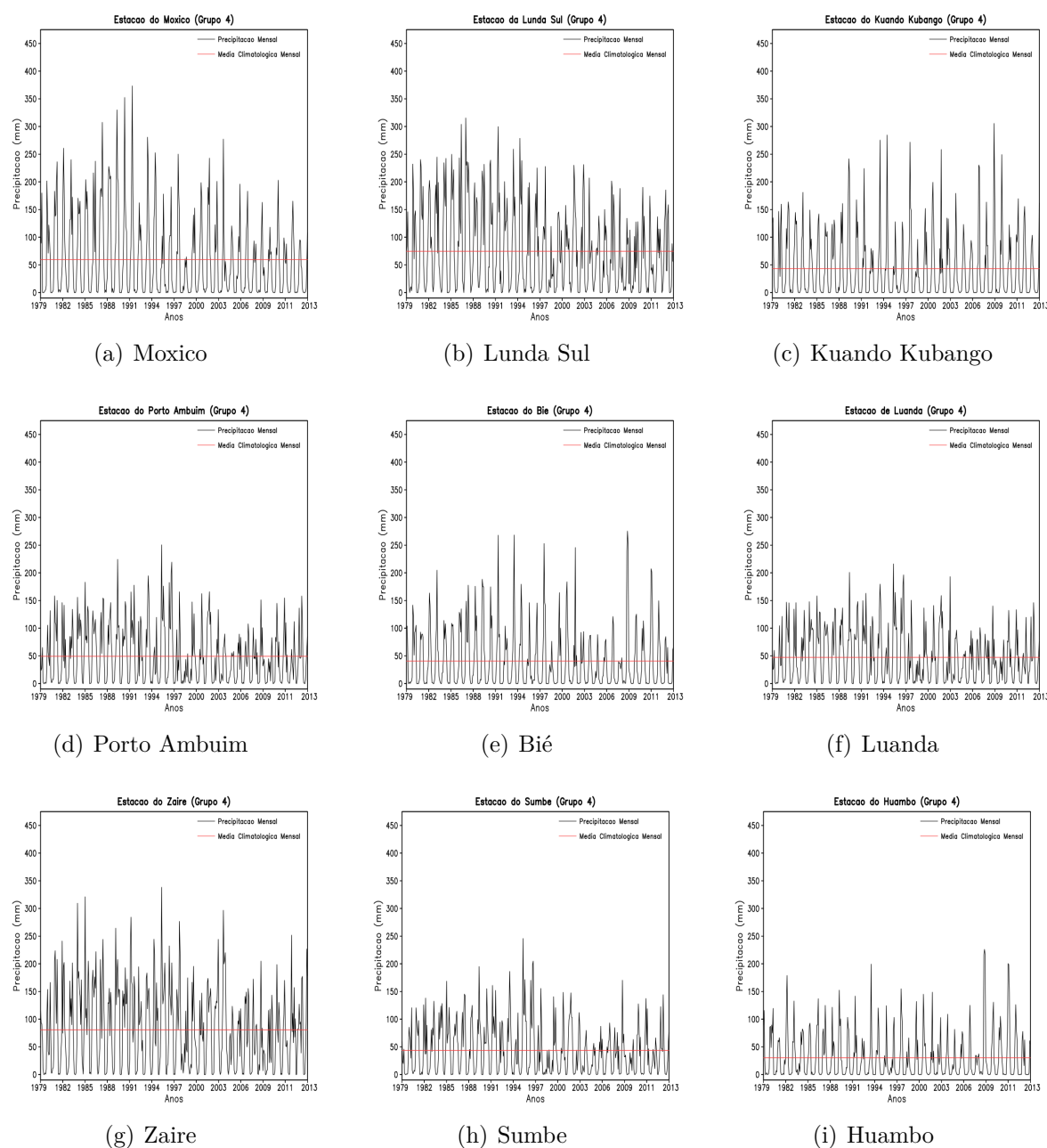


Figura 15 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 4.

A província do Sumbe está localizada no litoral de Angola, tem o período chuvoso (novembro a abril), variando as pp entre os 300mm e 400mm, sendo março o mês mais chuvoso, e dezembro e janeiro os meses de menor pp. Para o grupo 4, as estações do Moxico, Lunda Sul, Kuando Kubango, Porto Ambuim, Bié, Zaire e Luanda, apresentaram a maior quantidade de pp ao longo de toda a série e as estações do Sumbe e Huambo, com menor quantidade de pp. O mês de Setembro mostra que começam a pp na região Leste de Angola, chegando a atingir o pico Máximo em Dezembro e Janeiro, com pp abaixo da média de Maio a Agosto, a escassez de pp fica no Centro, Figura 15 (i). Munday (2017), em seus resultados viram que as províncias que ficam a Oeste de Angola os padrões de pp São

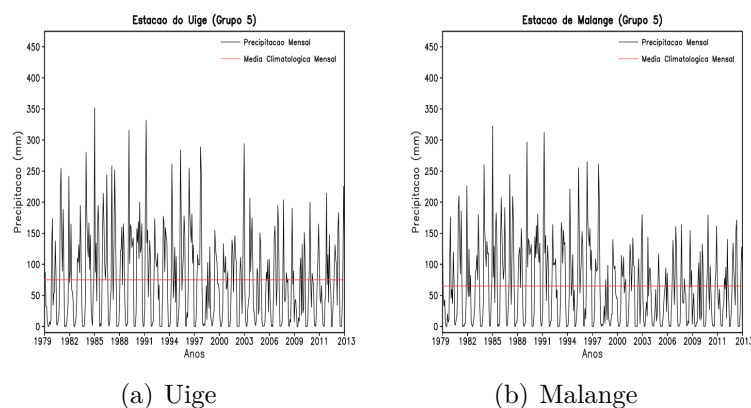


Figura 16 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 5.

mais influenciado pelos efeitos locais, como por exemplos as brisas em setembro, outubro e novembro para além da ZCIT também tem ondas que adentram e vão criando essa Zona de convergência e consequentemente ocorrência de pp. Neste caso existe também um sistema chamado de Zona de Convergência do Índico (ZCIS) que se estende até parte Leste de Angola e provoca pp acima do esperado no território de Angola, os períodos úmidos estão associados a fortes circulações da baixa de Angola.

As estações do grupo 5 (Malange e Uige), Figura 16. A província de Malange está localizada mais ao norte de Angola tem variação sazonal extrema de pp mensal no decorrer do ano. O período chuvoso se estende de setembro a maio, tendo o máximo de pp em novembro. O período seco acontece entre (maio a início de setembro), sendo julho o mês mais seco.

A província do Uige localizada mais para extremo norte de Angola tem variação sazonal pp mensal. O período chuvoso do ano dura aproximadamente 11 meses (agosto a junho), sendo que o máximo de pp ocorre também em novembro, (230mm). O período do ano sem pp é de junho a agosto, sendo o mês de julho com menores registros (≥ 5 mm). Howard et al. (2020), em seus resultados, viram que esse desfazamento da província do Uige em relação as demais províncias é por causa da Baixa de Angola atuando em baixos níveis, com forte escoamento que vem da região do Congo, esse escoamento cria uma região de convergência com o escoamento que parte da Baixa de Angola aumentando os movimentos verticais, combinado com os padrões de divergência em altos níveis causa pp.

As estações do grupo 5, apresentam acumulados em alguns anos (≥ 250 mm) e, a quantidade de pp diminui nos anos entre 1991 a 1994 com pp abaixo da média, e em 2009 ainda permanecem escassas, Figura 16. Segundo os resultados obtidos por Azevedo (2006), a pp apresentou variabilidade de longo período que parece estar relacionada à DOP (20 - 30 anos) e aparentemente relacionada à variabilidade de períodos mais curtos com eventos ENSO (3 - 7 anos).

A província de cabinda grupos 7 também está localizada ainda mais ao extremo norte de Angola. O período chuvoso do ano dura 10 meses (setembro a junho), o máximo de pp ocorre durante o mês de novembro, ($\geq 200\text{mm}$). O período sem pp do ano dura aproximadamente 2 meses (julho e agosto). As quantidades mínimas de pp são registradas em agosto, ($\geq 5\text{mm}$). Analisando a variabilidade espacial da pp Figura 17, observa-se que durante os anos de 1982 e 1995, apresentaram maiores valores, $\geq 480\text{ mm}$. O núcleo de maior evento de pp ficou restrito ao extremo norte do País, no período de 1998 a 2000, onde a pp ficou abaixo que 45 mm. Segundo os resultados obtidos por Azevedo (2006), a pp apresentou variabilidade de longo período que parece estar relacionada à DOP (20 - 30 anos) e aparentemente relacionada à variabilidade de períodos mais curtos com eventos ENSO (3 - 7 anos).

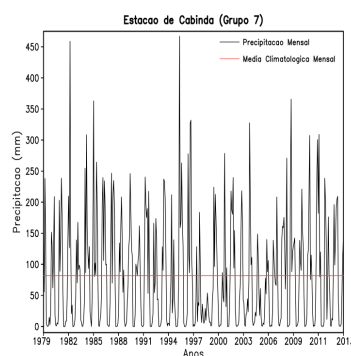


Figura 17 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 7 - Cabinda.

As províncias dos grupos 5 e 7 apresentaram características de registro de PP marcante durante o período chuvoso do ano de setembro a junho, seus maiores acumulados de pp ocorrem durante os meses de setembro-novembro e nos meses de março-maio. De acordo com os resultados de Munday (2017), a ZCIT está presente nos meses de setembro, outubro e novembro, a migração da ZCIT nos meses de (março, abril e maio) é um pouco mais para baixo que provoca PP em todo extremo Norte de Angola.

4.4 Análise Climatológica

4.4.1 Climatologia da Precipitação Pluvial

Nota-se uma alta redução de acumulados de PP em algumas partes do país, como a região central e sul de Angola, respectivamente. O registro dos maiores totais de pp, superiores a 700 mm, no sul. A região Sudoeste com o registro de menores totais de pp menor 15 mm, Figura 18, com verão seco devido provavelmente a influência de El Niño. Segundo Fidel and O'Toole (2007), esse índice pluvial foi causado pela ZCIT quando

associada à atividade convectiva, correntes ascendentes de ar e, por sua vez resultam na formação de nebulosidade e ocorrência de PP. Já a Alta Subtropical cria uma região de divergência na parte oeste favorecendo subsidência no Namibe e, por conseguinte, tem-se uma estação mais seca. Desde 2011-2012 que a região Sul tem sofrido com seca, a seca voltou a assolar em 2015-2016, em algumas áreas no sul de Angola registraram a estação mais seca em 35 anos, onde a mesma estava associada ao fenômeno El Niño e a Alta Subtropical .

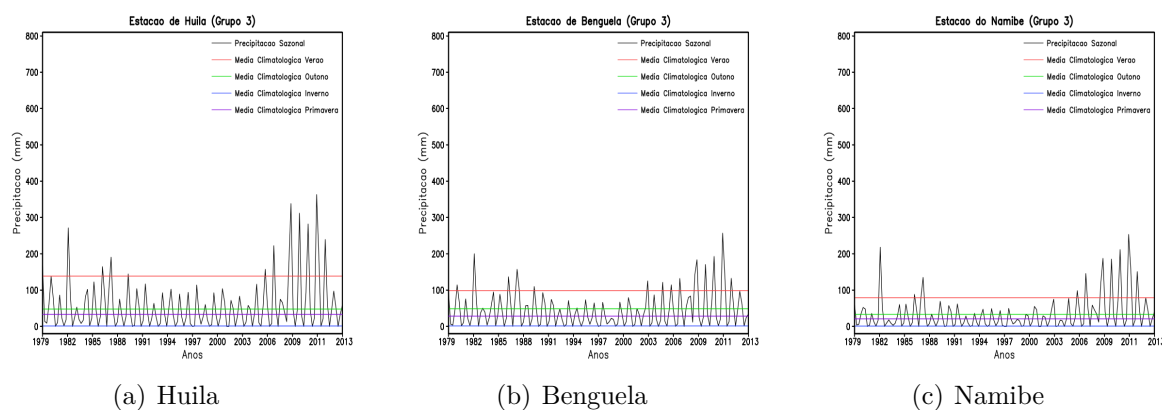


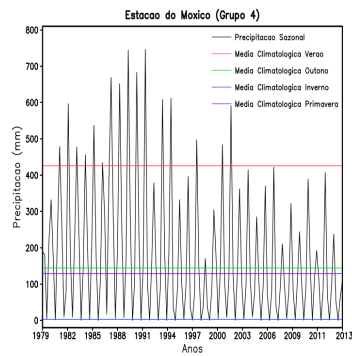
Figura 18 – Gráfico da precipitação sazonal das estações do Grupo 3.

O outono (março, abril e maio) inicia em 20 de março, sendo uma estação de transição entre o verão e inverno (junho, julho e agosto), porém a pp ainda permanece bem distribuída sobre grande parte do país, mostrando que ainda existe a influência do verão.

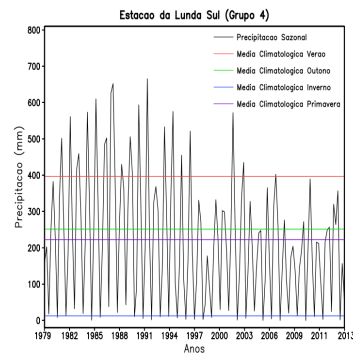
O clima na providência de Luanda apresenta características tropicais, apesar de ser surpreendentemente seco devido à corrente fria de Benguela que impede na maior parte do ano a condensação da umidade para gerar pp, causando secas entre maio e outubro, e pp com baixos valores acumulados de novembro a abril.

A PP permanece concentrada entre o setor norte, leste e sudeste de Angola Figura 19. Nas estações do grupo 4 os resultados dos doze meses analisados mostraram que a pp iniciam com a chegada da primavera (setembro, outubro e novembro) e se espalham por quase todas as regiões com a chegada do verão (dezembro, janeiro e fevereiro), mostrando que o regime de chuva em todas as estações analisadas tem ciclos anuais muito marcantes, com a PP concentrada nos meses do verão (dezembro, janeiro e fevereiro), que é o período de maior convecção, sendo os meses mais chuvosos de setembro a fevereiro.

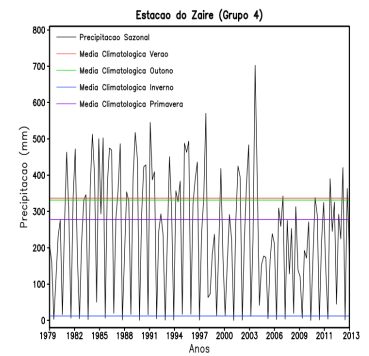
As estações do grupo 5 (Uíge e Malange), Figura 20 (a e b) apresentaram uma média climatológica no outono com maior valor em relação às outras estações sazonais, coincidindo com a Figura 1b linha laranja, onde as maiores quantidades de pp (120, 130 e 140 mm) ocorrem em março, abril e maio, com pp abaixo da média no período de



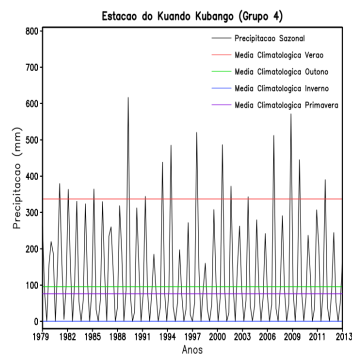
(a) Moxico



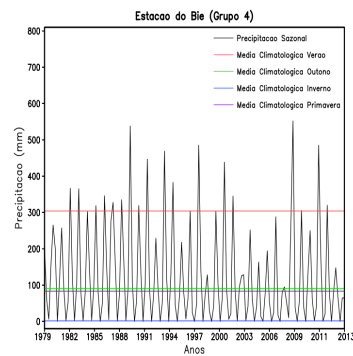
(b) Lunda Sul



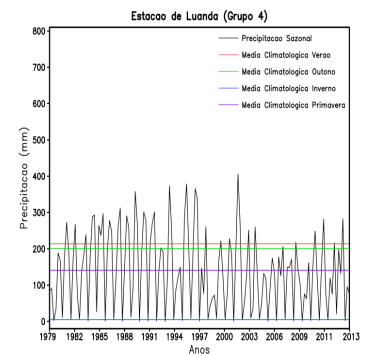
(c) Zaire



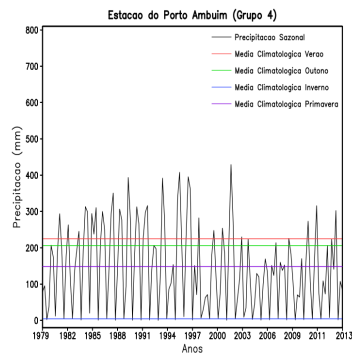
(d) Kuando Kubango



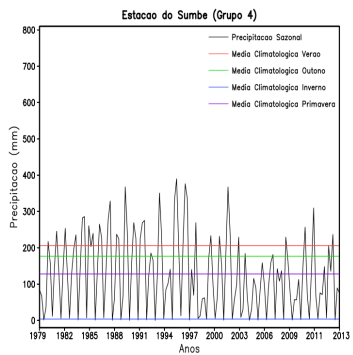
(e) Bié



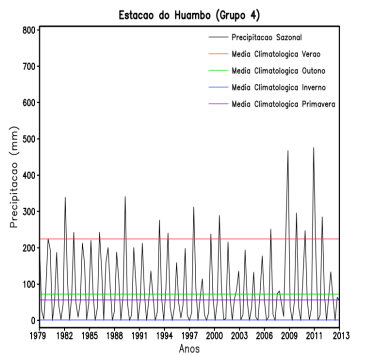
(f) Luanda



(g) Porto Ambuíim



(h) Sumbe



(i) Huambo

Figura 19 – Gráfico da precipitação sazonal das estações do Grupo 4.

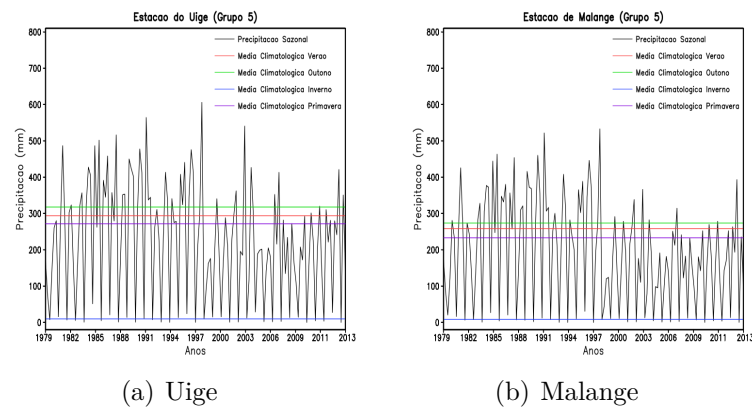


Figura 20 – Gráfico da precipitação sazonal para as estações do Grupo 5.

1997-2000 porque a região é também influenciada pelas altas subtropicais do anticiclone do Atlântico Sul.

Cabinda (grupo 7) teve dois picos máximos bem evidentes nos verões de aproximadamente 1981 e de 2011, comprovando os resultados de *HURLEY and BOOS (2015)*, algumas estações meteorológicas no Norte de Angola registram dois picos de PP, muitas vezes com um breve período mais seco a meio do Verão (conhecido como pequeno cacimbo), o aquecimento solar na região força o ar através da convecção, o que resulta em abundância de PP. A variação da PP no verão é dominada pela ZCIT e apresentou PP abaixo da média no período de 1997-2000 porque a região é também influenciada pelas altas subtropicais do anticiclone do Atlântico Sul, Figura 21.

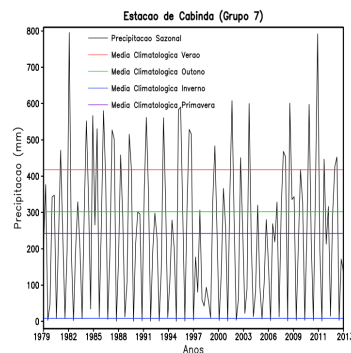


Figura 21 – Gráfico da precipitação mensal para as estações do Grupo 7 - Cabinda.

4.5 Análise dos processos Dinâmicos e Convectivo em escala Sinótica

4.5.1 Análise dos padrões de Convecção, ROL e Linhas de corrente durante os meses mais chuvosos (Outubro a Março) no período de 1979 a 2013 sobre Angola.

Analisando a Figura 22 mostra que os meses de outubro a dezembro atingiram os menores valores do ROL, em torno de 230 W/m^2 em superfície, região centro-sul de Angola. A convecção tropical, geralmente corresponde a regiões de ROL abaixo de 240 Wm^{-2} (Lau et al., 1997). Segundo Ntale and Gan (2003), nas regiões tropicais, os baixos valores de radiação de onda longa (OLR) registrados pelo satélite no topo da atmosfera terrestre são utilizados para caracterizar regiões de convecção profunda. A Figura 22 mostra que os maiores acumulados de PP ficaram concentrados nas mesmas regiões dos menores valores de ROL. Para Zhang (1993), a ROL pode não servir para identificar nuvens de convecção profunda, mas pode ser usada de maneira confiável, principalmente em grandes escalas de tempo, para detectar áreas de atividade convectiva que estão associadas com a formação de nuvens de convecção profunda. Segundo Okoola (1998), a ZCIT é o principal sistema de escala sinótica que influencia na PP sazonais Angola. A confluência dos ventos e a confluência de massa em baixos níveis, associado a ZCIT favorece o transporte de umidade e aumento da convecção sobre essas região.

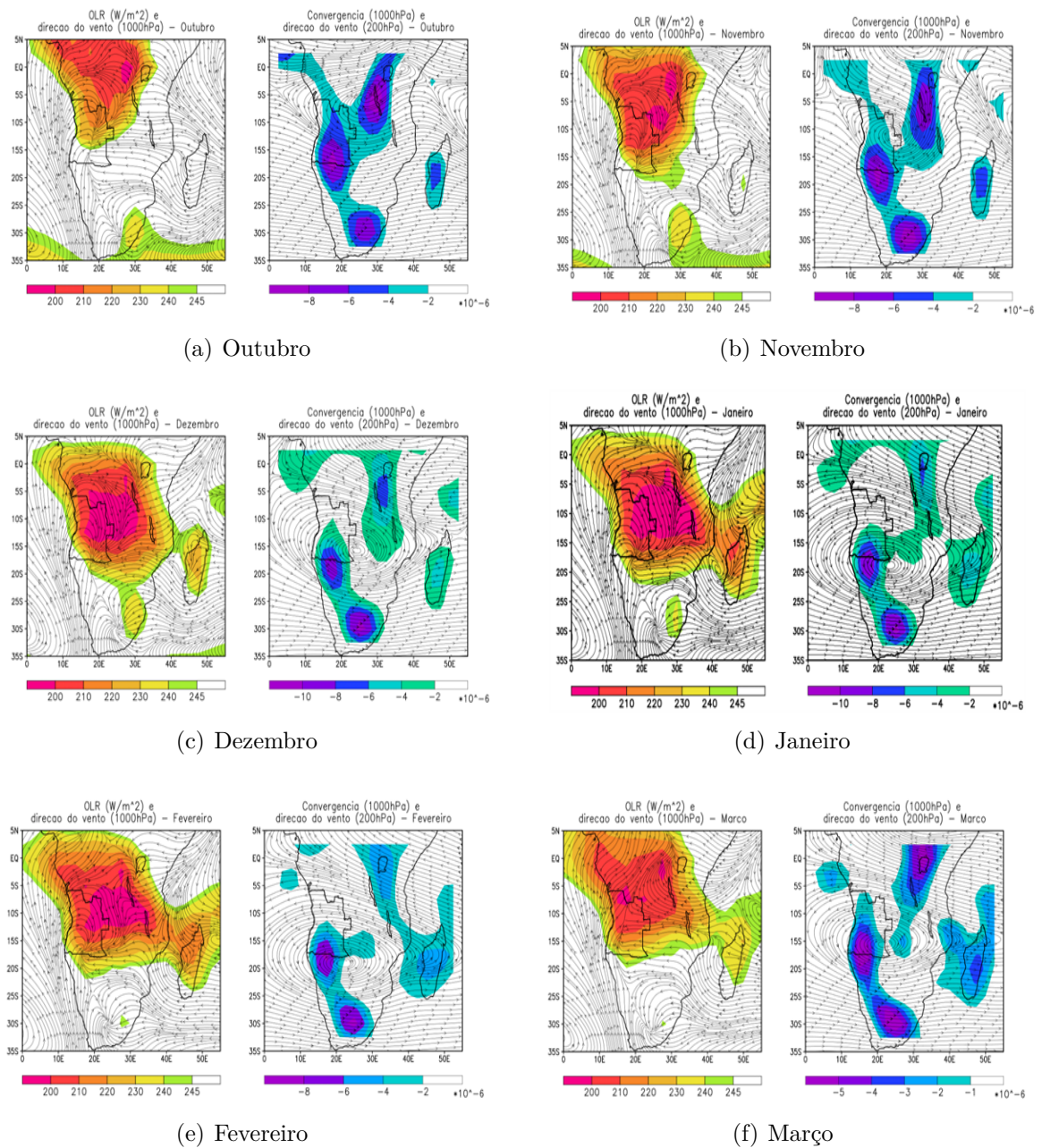


Figura 22 – Padrões Dinâmicos e Convectivos em escala sinótica de Outubro a Março de 1979 a 2013.

4.5.2 Padrões de Convecção, Rol e Linhas de corrente durante os meses mais Secos (Abril a Setembro) no período de 1979 a 2013 sobre Angola.

A Figura 23 mostra os padrões de radiação de onda longa associados com as linhas de corrente em superfície (1000 hPa) e a convecção também associada as linhas de correntes em níveis alto da atmosfera (200 hPa) durante os meses mais secos do ano (abril, maio, junho, julho, agosto e setembro) para o período de 1979 a 2013. Ainda durante o mês de abril, no centro-norte de Angola, observou-se valores baixo de ROL e convecção de massa

devido o período de transição entre as estações de verão e outono, a atmosfera sobre esta região de Angola ainda se encontra um pouco aquecida. A partir do mês de maio até julho, as linhas de corrente em superfície predomínio de sudeste, sem convergência do vento em toda região de Angola. O ROL durante esse período permanece com valores ≥ 245 W/m², assim, em regiões sem nuvens, o ROL é uma medida da superfície (atmosfera menos quente). Em altos níveis, esse período, não apresenta confluência de linhas de corrente, e a convecção de massa pouco ativa entre centro-leste de Angola. Já o mês de agosto e setembro a atmosfera volta a aquecer, isso faz que as linhas correntes comecem a convergir, mas ainda sem valor significativo de ROL para aquecimento da atmosfera, mas nota-se aumento de convecção sobre as regiões de Angola. Ntale and Gan (2003), num estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do atlântico, concluiu que a climatologia (21 anos) de dados de ROL verificou-se que a banda convectiva associada a ZCIT apresenta-se inclinada em relação ao Equador, desde a costa nordestina até a costa africana. Notou-se também que sobre o oceano torna-se mais fácil a identificação da nebulosidade associada a ZCIT. Nas áreas costeiras da África como a do Nordeste, a convecção associada a ZCIT confunde-se com a convecção continental dificultando sua localização.

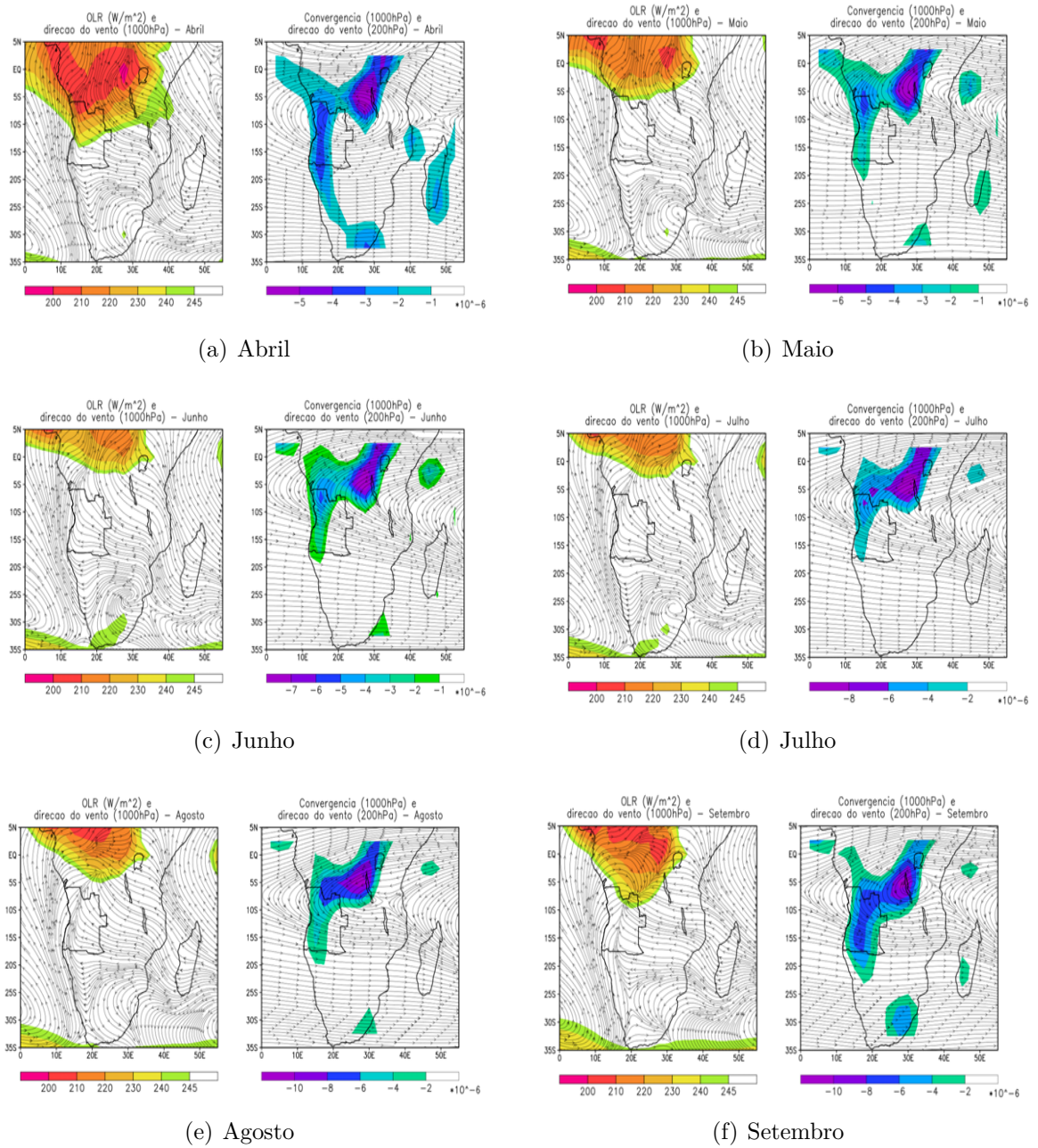


Figura 23 – Padrões Dinâmicos e Convectivos em escala sinótica do Abril a Setembro de 1979 a 2013.

Na Figura 23 observa que partir de Abril, o núcleo de ROL começa a se deslocar para norte ($5^{\circ}S$ e $5^{\circ}N$) e os ventos alísios de sudeste ficam com fluxo de sudeste a noroeste cortando todo o continente africano. No campo de ROL e linhas de correntes em superfície (1000 hPa), observa-se a convergência do vento em poucas áreas do continente, principalmente entre 0° e $5^{\circ}N$ entre a África Central e Oriental, e também no centro-leste de Angola. No mês de Maio em diante a ZCIT volta a se deslocar para o Hemisfério Norte, com seu ramo oriental já conectado à convecção africana que atinge seu ponto máximo no litoral deste continente nos meses de inverno (junho, julho e agosto). O eixo

ocidental da ZCIT ao norte de 5°N atinge a latitude mais norte em Agosto. A partir de Setembro, a convecção na África Central e Ocidental ganha força fazendo com que a ZCIT oscila e se incline para sul. Em Setembro quando atmosfera começa aquecer com a chegada da primavera a confluência volta a configurar no interior da África Central. Respectivamente, a atividade convectiva acompanha as regiões da confluência dos ventos. O padrão observado nesses meses acompanha o comportamento ZCIT quando está mais ao norte climatologicamente.

Em outubro novamente o núcleo de maior atividade convectiva da ZCIT volta a se configurar sobre continente, Figura 23. Este núcleo já está mais forte em relação ao observado no mês anterior, e denota o aumento da atividade convectiva. Nicholson et al. (2018), afirma que perto da ZCIT, a convecção rasa (processo intermediário entre a convecção não saturada da camada limite e a convecção profunda, exerce um papel fundamental nesse processo) existe e pode agir para pré-umedecer a convecção profunda na primavera e no outono. estudando a ZCIT e o ciclo sazonal sobre a África equatorial constatou que estrutura do campo de movimento vertical durante as estações chuvosas da primavera e outono boreais foi examinada na África central e ocidental. As duas regiões, a estrutura mostrou convergência em superfície levando diretamente à subida e, portanto, a formação de PP. A subsidência de baixo nível está subjacente a grande parte da região de PP máxima.

4.5.3 Padrões de Convecção, Rol e Linhas de Corrente durante variação Sazonal.

Durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (verão do HS), a ZCIT tem a sua migração mais para o sul, nesses meses a convecção começa a se espalhar mais para o leste como é observado na figura C,D e E e, nota-se também a configuração da baixa de Angola bem mais definida o que influencia para valores de ROL mais baixos ($\geq 220 \text{ Wm}^{-2}$) entre essas regiões, no entanto os maiores valores de precipitação estão concentrados sobre o leste e norte de Angola. Na região do Namibe tem valores altos de ROL por ser uma região de divergência devido ao escoamento associado a alta subtropical. No mesmo período a convergência de massa fica bem concentrada no centro-sul de Angola. Para Suzuki (2011), estudando a variação sazonal do ZCIT e suas características na África central, conclui que a ZCIT produz grande energia potencial convectiva disponível que gera convecção profunda, e que a mudança sazonal da ZCIT é precedida pela instabilidade úmida vertical na atmosfera livre mais baixa causada pela mudança sazonal na insolação (períodos de Sol).

Para os meses MAM (outono), a Figura 25 mostra as maiores variâncias totais encontram-se próximas às áreas de forte convecção. Uma faixa com variâncias altas estende-se para leste, desde a África até o Pacífico Central, com os maiores valores ao longo da

Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). Sobre a África, as maiores variâncias totais são encontradas na porção sudeste do continente.

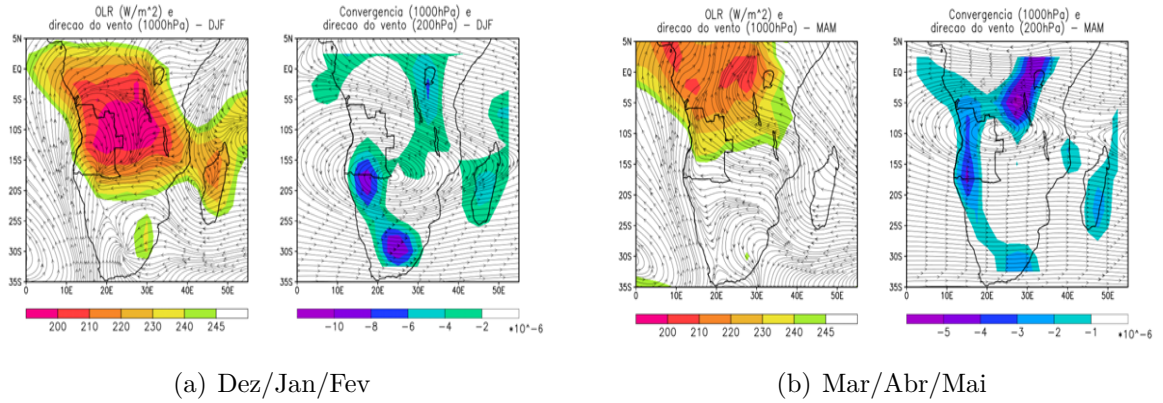


Figura 24 – Padrões Dinâmicos e Convectivos em escala sinótica de Dezembro a Maio 1979 a 2013.

Os campos de correlações para ROL e convergência mostrado na Figura 24 para dezembro, janeiro e fevereiro, mostra que as correlações positivas (negativas) de ROL e convergência na região de estudo estão relacionadas com regiões de intensa (reduzida) atividade convectiva, portanto, a chuva excessiva (reduzida). Correlações negativas são observadas sobre o Norte do Atlântico, Madagascar. Correlações positivas são encontradas sobre o Oceano Índico Equatorial, e no sul do Atlântico.

Para JJA (Figura 25), os maiores valores de variância total de ROL estão sobre os Oceanos Índico, Pacífico Oeste Tropical e Pacífico Equatorial Central. Nos meses de setembro, outubro e novembro, a ZCIT está mais para o norte.

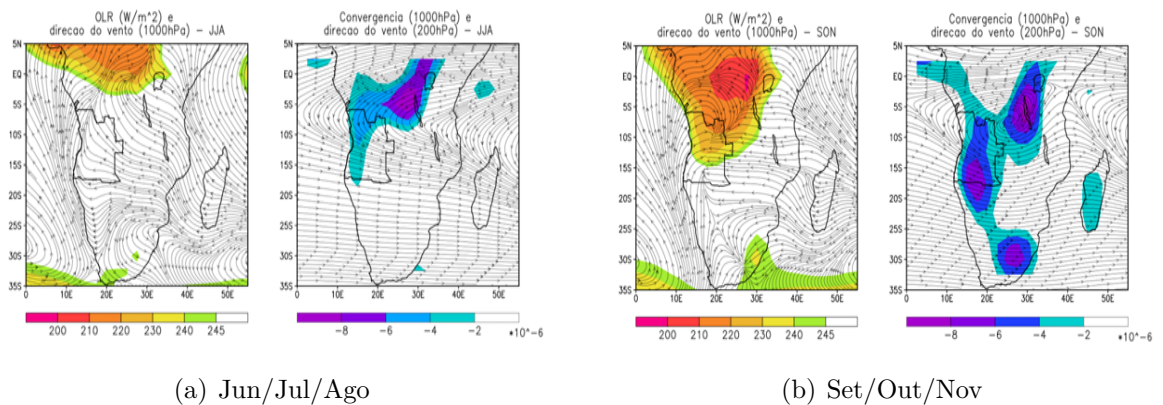


Figura 25 – Padrões Dinâmicos e Convectivos em escala sinótica de Junho a Novembro 1979 a 2013.

5 CONCLUSÃO

Diante dos objetivos propostos, materiais e métodos utilizados, pode concluir que: A PP em Angola é influenciada pelos sistemas convectivos presentes na região que provocam precipitação em decorrência da época do ano.

Em geral, os valores estiveram abaixo das médias, mostrando assim que os dados do CPC não teve boa representação em relação a PP das estações do INAMET. Desta forma, os dados obtidos pelas estações do INAMET estiveram abaixo do esperado, quando do uso das análises estatísticas, mas isso não quer dizer que os dados não sejam bons;

Na análise de agrupamento constatou-se 4 grupos (do 3 ao 6) apresentaram 2 períodos: seco (outono-inverno) e chuvoso (primavera-verão) bem definidos, com acumulo de pp no decorrer do ano, a parte norte com picos de pp nos meses de abril e novembro , região centro-sudeste e região leste com pico de pp no verão, principalmente no mês de janeiro , respectivamente e a região sudoeste conhecida como uma zona desértica com pico máximo de pp no mês de abril.

Análise dos padrões de ciclo mensal de pp em Angola, através do método de análise de agrupamento, de uma maneira geral, mostrou os padrões de pp, com diferentes regimes de PP. Podendo auxiliar no planejamento agrícola da região.

Os regimes de pp anual, mais ao norte, apresentaram picos de PP variando entre meses de abril e novembro; na região centro-sudeste e região leste com o pico de PP no verão, mês de Janeiro, na região sudoeste, mais seca ou desértica, o pico máximo de pp ocorreu no mês de abril.

Quanto, aos padrões mensais, sazonais e anuais de pp sobre Angola tem regime de pp em todas as estações com ciclos anuais marcantes, concentrada nos meses de primavera e verão do Hemisfério Sul, que é o período de maior convecção, concentrando nos meses mais chuvosos de setembro a fevereiro; e o período mais seco ficam concentrados entre as estações de outono e inverno abril a agosto.

Portanto, as análises dos padrões dinâmicos e termodinâmicos na escala sinótica, mostraram que o transporte de umidade e aumento da convecção sobre as regiões de Angola, é causado pela convergência de ventos e deslocamento de massa em baixos níveis, estando associado ao posicionamento da ZCIT durante as estações da primavera e verão, influenciando na pp.

REFERÊNCIAS

- João Maria de Sousa Afonso et al. Análise de ocorrência de nevoeiros e dos resultados do modelo de previsão “pafog” em diferentes regiões climáticas do brasil. 2016.
- AC de Azevedo. *Solos e ambiente: uma introdução*. pallotti, 2006.
- Gabriel Kamilo Pantoja Barrios. *Estudo da quebra de leitos de partículas aplicado à modelagem generalizada da cominuição*. PhD thesis, Dissertação de M. Sc. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- Swadhin K Behera and Toshio Yamagata. Subtropical sst dipole events in the southern indian ocean. *Geophysical Research Letters*, 28(2):327–330, 2001.
- SO BERNARDO and LCB MOLION. Variabilidade espacial e temporal da precipitação sobre a américa do sul tropical e costa oeste do continente africano anais xiii. In *Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza (CE)*, 2004.
- Anderson Augusto BIER and Simone Erotildes Teleginski FERRAZ. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no sul do brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(2):215–226, 2017.
- Ross C BLAMEY and CJC REASON. Mesoscale convective complexes over southern africa. *Journal of climate*, 25(2):753–766, 2012.
- WR Boos, JV Hurley, and VS Murthy. Adiabatic westward drift of indian monsoon depressions. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(689):1035–1048, 2015.
- IPCC Climate Change. Synthesis report (eds core writing team, pachauri, rk & meyer la)(ipcc, 2014), 2014.
- Hector CHIKOORE, Jan H Vermeulen, and Mark R Jury. Tropical cyclones in the mozambique channel: January–march 2012. *Natural Hazards*, 77(3):2081–2095, 2015.
- Susan Christopherson and Ned Rightor. How shale gas extraction affects drilling localities: Lessons for regional and city policy makers. *Journal of Town and City Management*, 2(4):1–20, 2012.
- Paulo André de Sousa Coelho. Caracterização e distribuição do fitoplâncton na zona norte da costa angolana em agosto de 2002. 2002.
- RJM CRAWFORD, LV Shannon, and DE Pollock. The benguela ecosystem. part iv. the major fish and invertebrate resources. *Oceanogr. Mar. Biol*, 25:353–505, 1987.

- Scott Curtis and Stefan Hastenrath. Forcing of anomalous sea surface temperature evolution in the tropical atlantic during pacific warm events. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 100(C8):15835–15847, 1995.
- TO DECICINO, SH BENEZ, PRA SILVA, JG LANÇA, AS SEKI, and CR PIFFER. Uso da nabiça (*raphanus raphanistrum*) como planta de cobertura do solo em sistema de plantio direto de pequenas propriedades. In *3º CONGRESSO ITEANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 2006.
- François Pathé DIOP, Ventakesh SESHAMANI, and Chola MULENGA. *Household health seeking behavior in Zambia*. Partnerships for Health Reform, Abt Associates, 1998.
- José Guilherme Martins DOS SANTOS. Introdução ao climate data operators (cdo).
- Craig EDELBROCK. Mixture model tests of hierarchical clustering algorithms: The problem of classifying everybody. *Multivariate Behavioral Research*, 14(3):367–384, 1979.
- Nicolas FAUCHEREAU, S TRZASKA, M ROUAULT, and Yves RICHARD. Rainfall variability and changes in southern africa during the 20th century in the global warming context. *Natural hazards*, 29(2):139–154, 2003.
- Anne FAUSTO, Sterling. On the timing and place of action during embryogenesis of the female-sterile mutants fused and rudimentary drosophila melanogaster. *Developmental biology*, 26(3):452–463, 1971.
- Q Fidel and MJ O’Toole. Changing state of the benguela lme: forcing, climate variability and ecosystem impacts. In *Presentation to the 2nd Global Conference on Large Marine Ecosystems*, pages 11–13, 2007.
- H FLOHN. A hemispheric circulation asymmetry during late tertiar. *Geologische Rundschau*, 70(2):725–736, 1981.
- Graham R FOSTER, Nezam Afdhal, Stuart K Roberts, Norbert Bräu, Edward J Gane, Stephen Pianko, Eric Lawitz, Alex Thompson, Mitchell L Shiffman, Curtis Cooper, et al. Sofosbuvir and velpatasvir for hcv genotype 2 and 3 infection. *New England Journal of Medicine*, 373(27):2608–2617, 2015.
- Sussy GUMO. Praying for rain: Indigenous systems of rainmaking in kenya. *The Ecumenical Review*, 69(3):386–397, 2017.
- Stefan HASTENRATH and Lawrence GREISCHAR. The monsoonal current regimes of the tropical indian ocean: Observed surface flow fields and their geostrophic and wind-driven components. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(C7):12619–12633, 1991.

- Antrony C HIRST and Stefan HASTERATH. Atmosphere-ocean mechanisms of climate anomalies in the angola-tropical atlantic sector. *Journal of physical oceanography*, 13(7): 1146–1157, 1983.
- Scarlett R Howard, Aurore Avarguès-Weber, Jair E Garcia, Andrew D Greentree, and Adrian G Dyer. Reply to comment on howard et al.(2019):‘nothing to dance about: unclear evidence for symbolic representations and numerical competence in honeybees’. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1925):20200095, 2020.
- Brian J Huntley. Angola in outline: physiography, climate and patterns of biodiversity. In *Biodiversity of Angola*, pages 15–42. Springer, Cham, 2019.
- John V HURLEY and William R BOOS. A global climatology of monsoon low-pressure systems. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(689):1049–1064, 2015.
- John R JENSEN and JOSÉ Carlos Neves EPIFHANIO. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Parêntese, 2011.
- Eugenia KALNAY, Masao KANAMITSU, Robert KISTLER, William COLLINS, Dennis DEAVEN, Lev GANDIN, Mark IREDELL, Suranjana SAHA, Glenn WHITE, John WOOLLEN, et al. The ncep/ncar 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 77(3):437–472, 1996.
- David J Karoly, Dayton G Vincent, and Jon M Schrage. General circulation. In *Meteorology of the Southern Hemisphere*, pages 47–85. Springer, 1998.
- Leonard KAUFMAN and Peter J ROUSSEUW. *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*, volume 344. John Wiley & Sons, 2009.
- VE KOUSKY and PAO SHIN CHU. Fluctuations in annual rainfall for northeast brazil. 1978.
- Steve Krug. Älä pakota minua ajattelemaan. *Helsinki: Readme. fi*, 2006.
- KM Lau, HT Wu, and S Bony. The role of large-scale atmospheric circulation in the relationship between tropical convection and sea surface temperature. *Journal of Climate*, 10(3):381–392, 1997.
- Clémence MACRON, Benjamin POHL, Yves RICHARD, and Miloud BESSAFI. How do tropical temperate troughs form and develop over southern africa? *Journal of Climate*, 27(4):1633–1647, 2014.
- Adelaide Graça TChacussuñgama Maiato. O papel da agricultura de conservação na luta contra a erosão do solo em particular em angola. Master’s thesis, Universidade de Évora, 2016.

- Maurice J MCHUGH. Impact of south pacific circulation variability on east african rainfall. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26 (4):505–521, 2006.
- Maurice J MCHUGH and Jeffrey C ROGERS. North atlantic oscillation influence on precipitation variability around the southeast african convergence zone. *Journal of Climate*, 14(17):3631–3642, 2001.
- Gillian MIMMACK MIMMACK, Simon MASON MASON, and Jacqueline S GALPIN. Choice of distance matrices in cluster analysis: Defining regions. *Journal of climate*, 14 (12):2790–2797, 2001.
- Luiz Carlos B Molion and Paulo Sérgio Lucio. A note on pacific decadal oscillation, el nino southern oscillation, atlantic multidecadal oscillation and the intertropical front in sahel, africa. 2013.
- Luiz Carlos Baldicero MOLION and S de O BERNARDO. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17(1):1–10, 2002.
- Richard Munday, Callum e Washinton. Circulation controls on southern african precipitation in coupled models: The role of the angola low. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(2):861–877, 2017.
- Leslie F Musk. Weather systems. Technical report, 1988.
- Aristides Osvaldo NGOLO. Zoneamento agroclimático para cultura do café em angola. 2014.
- Sharon E NICHOLSON and JEEYOUG KIM. The relationship of the el niño–southern oscillation to african rainfall. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 17(2):117–135, 1997.
- Sharon E Nicholson, Chris Funk, and Andreas H Fink. Rainfall over the african continent from the 19th through the 21st century. *Global and planetary change*, 165:114–127, 2018.
- Henry K Ntale and Thian Yew Gan. Drought indices and their application to east africa. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23 (11):1335–1357, 2003.
- RE Okoola. Spatial evolutions of the active convective patterns across the equatorial eastern africa region during northern hemisphere spring season using outgoing longwave radiation records. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 66(1-2):51–63, 1998.

- Murray C Peel, Thomas A McMahon, and Brian L Finlayson. Vegetation impact on mean annual evapotranspiration at a global catchment scale. *Water Resources Research*, 46(9), 2010.
- Lydia PLOWMAN, Yvonne ROGERS, and Magnus RAMAGE. What are workplace studies for? In *Proceedings of the Fourth European Conference on Computer-Supported Cooperative Work ECSCW'95*, pages 309–324. Springer, 1995.
- Benjamin Pohl, Bastien Dieppois, Julien Crétat, Damian Lawler, and Mathieu Rouault. From synoptic to interdecadal variability in southern african rainfall: toward a unified view across time scales. *Journal of Climate*, 31(15):5845–5872, 2018.
- Sandra POMBO and Rodrigo Proença DE OLIVEIRA. Evaluation of extreme precipitation estimates from trmm in angola. *Journal of Hydrology*, 523:663 – 679, 2015. ISSN 0022-1694. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.014>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169415001250>.
- Sergei Appolonovich PULNEV, Andrei Vladimirovich Karev, and Sergei Vladimirovich Schukin. Stent, February 7 2012. US Patent 8,109,992.
- HE Rawson. The anticyclonic belt of the southern hemisphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 34(147):165–188, 1908.
- James Rennell. *An investigation of the currents of the Atlantic Ocean: and of those which prevail between the Indian Ocean and the Atlantic*. Lady Rodd, 1832.
- Alfredo Rocha and IAN Simmonds. Interannual variability of south-eastern african summer rainfall. part 1: relationships with air–sea interaction processes. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 17(3):235–265, 1997.
- Belen Rodríguez-Fonseca, Elsa Mohino, Carlos R Mechoso, Cyril Caminade, Michela Biasutti, Marco Gaetani, Javier Garcia-Serrano, Edward K Vizy, Kerry Cook, Yongkang Xue, et al. Variability and predictability of west african droughts: a review on the role of sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 28(10):4034–4060, 2015.
- Chester F ROPELEWSKI and Michael S HALPERT. Global and regional scale precipitation patterns associated with the el niño/southern oscillation. *Monthly weather review*, 115(8):1606–1626, 1987.
- Chester F ROPELEWSKI and Phil D JONES. An extension of the tahiti–darwin southern oscillation index. *Monthly Weather Review*, 115(9):2161–2165, 1987.
- Mathieu ROUAULT, Shouraseni Sen ROY, and Robert C BALLING JR. The diurnal cycle of rainfall in south africa in the austral summer. *International journal of climatology*, 33(3):770–777, 2013.

- NH SAJI, BN GOSWAMI, PN VINAYACHANDRAN, and T YAMAGATA. A dipole mode in the tropical indian ocean. *Nature*, 401(6751):360–363, 1999.
- Adam C SEDGWICK, Luling WU, Hai-Hao HAN, Steven D BULL, Xiao-Peng HE, Tony D James, Jonathan L SESSLER, Ben Zhong TANG, He TIAN, and Juyoung YOON. Excited-state intramolecular proton-transfer (esipt) based fluorescence sensors and imaging agents. *Chemical Society Reviews*, 47(23):8842–8880, 2018.
- Dirceu Luís Severo. Padrões de circulação anômala associados a episódios úmidos e secos no sul do brasil. *INPE, São José dos Campos, SP*, 2007.
- Richard W SOUTHERN. *Scholastic humanism and the unification of Europe/2 The heroic age*. Blackwell, 2001.
- Tsuneaki Suzuki. Seasonal variation of the itcz and its characteristics over central africa. *Theoretical and Applied Climatology*, 103(1-2):39–60, 2011.
- MANUEL ANTÓNIO DINA TALACUECE. *EXTREMOS CLIMÁTICOS NA ÁFRICA SUB-SAHARIANA: 1976-2005 E 2020-2050*. PhD thesis, Universidade Federal de Viçosa, 2018.
- JJ Taljaard. Synoptic meteorology of the southern hemisphere. In *Meteorology of the Southern Hemisphere*, pages 139–213. Springer, 1972.
- Karl E TAYLOR. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7):7183–7192, 2001.
- Philip K THORNTON. Rainfall and rainfall variability. International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2014.
- ALEXANDRE TOMO TIQUE. *Análise da Climatologia Dinâmica da Variabilidade da Precipitação na Região Sudeste da África*. PhD thesis, Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas). Instituto de Astronomia . . . , 2015.
- Martin Todd and Richard Washington. Circulation anomalies associated with tropical-temperate troughs in southern africa and the south west indian ocean. *Climate Dynamics*, 15(12):937–951, 1999.
- Kevin E TRENBERTH and Timothy J HOAR. El niño and climate change. *Geophysical Research Letters*, 24(23):3057–3060, 1997.
- AJ Van Bennekom and GW Berger. Hydrography and silica budget of the angola basin. *Netherlands Journal of Sea Research*, 17(2-4):149–200, 1984.
- John Van Heerden and JJ Taljaard. Africa and surrounding waters. In *Meteorology of the southern hemisphere*, pages 141–174. 1998.

- Adriana VAREJÃO, Adriano PEDROSA, and Verônica CORDEIRO. *Adriana Varejão, trabalhos e referências 1992-99*. Galeria Camargo Vilça, 1999.
- A Wayne VOGL, Kuljeet S VAID, and and Julian A GUTTMAN. The sertoli cell cytoskeleton. In *Molecular mechanisms in spermatogenesis*, pages 186–211. Springer, 2009.
- Joe H Ward Jr. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, 58(301):236–244, 1963.
- Peter J WEBSTER and Hai-Ru CHANG. Equatorial energy accumulation and emanation regions: Impacts of a zonally varying basic state. *Journal of the atmospheric sciences*, 45(5):803–829, 1988.
- Daniel S Wilks. *Statistical methods in the atmospheric sciences*, volume 100. Academic press, 2011.
- Steven M Wondzell. The influence of forest health and protection treatments on erosion and stream sedimentation in forested watersheds of eastern oregon and washington. *NORTHWEST SCIENCE*, 2001.
- Chidong Zhang. Large-scale variability of atmospheric deep convection in relation to sea surface temperature in the tropics. *Journal of Climate*, 6(10):1898–1913, 1993.