ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise Temporal da Chuva e Balanço Hídrico Climatológico para o Município de Chimoio, Moçambique

Geraldo Luís Charles de Cangela¹, George do Nascimento Araújo Júnior¹, José Edson Florentino de Moraes¹, José Raliuson Inácio Silva¹, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim¹, Ênio Farias de França e Silva¹, Júlio Lopes Lampião²

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. CEP: 52.171-900. E-mail: gerrycangela@gmail.com; georgearaujo.agro@gmail.com (Autor correspondente); joseedson50@hotmail.com; raliuson.silva@ufrpe.br; alexandremrfj@gmail.com; enio.fsilva@ufrpe.br.

²Universidade Zambeze, Chimoio, Manica, Moçambique. E-mail: juliolampiao@gmail.com.

Artigo recebido em 29/06/2020 e aceito em 11/02/2021

RESUMO

O conhecimento da variabilidade temporal das chuvas, possibilita prever mudanças no sistema hidrológico, planejar e gerenciar os recursos hídricos locais. Assim, objetivou-se avaliar a variabilidade temporal da precipitação pluvial e, realizar o Balanço Hídrico Climatológico (BHC), visando a caracterização da disponibilidade hídrica face às mudanças nos padrões de chuva do município de Chimoio, Moçambique, como também, classificá-lo climaticamente. Para isso, foram obtidos dados diários de precipitação pluvial e temperatura média do ar para o período de 1989 a 2018. A variabilidade da precipitação foi avaliada mediante a aplicação do Desvio Padronizado da Precipitação, teste sequencial de Mann-Kendall e regressão linear. Por meio do BHC foram determinados: déficit hídrico (DEF), excesso hídrico (EXC), retirada de água do solo (RET), reposição de água da chuva ao solo (REP), evapotranspiração real (ETR) e evapotranspiração potencial (ETP). A classificação climática foi obtida por meio dos índices: hídrico (I_h), aridez (I_a), umidade (I_u) e eficiência térmica (I_{et}). A precipitação pluvial de Chimoio não apresentou mudanças significativas no seu comportamento. Contudo, verificou-se grande oscilação, com valores anuais variando de 546,6 mm a 1724 mm, e média de 1016,63 mm. Observou-se um DEF anual de 240 mm entre abril e novembro, EXC de 226,4 mm e REP 96,4 mm entre dezembro e janeiro. O clima foi caracterizado como C₂ B'₃ s₂ w a'. Os resultados obtidos poderão subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao gerenciamento dos recursos hídricos, além de mitigar impactos ocasionados pela variabilidade da chuva no município de Chimoio, Moçambique.

Palavras-chave: déficit hídrico, classificação climática, mudanças climáticas, Mann-Kendall.

Temporal analysis of rainfall and climate water balance for the municipality of Chimoio, Mozambique

ABSTRACT

The knowledge of the temporal variability of rainfall makes it possible to foresee changes in the hydrological system, to plan and manage local water resources. The objective was to evaluate the temporal variability of rainfall and to carry out the Climatic Water Balance (CWB), aiming to characterize water availability in the face of changes in rainfall patterns in the municipality of Chimoio, Mozambique, as well as to classify it climatically. For this purpose, daily rainfall data and average air temperature were obtained for the period from 1989 to 2018. The variability of precipitation was assessed by applying the Standardized Precipitation Deviation, Mann-Kendall sequential test, and linear regression. The CWB determined: water deficit (WD), water surplus (WS), removal of water from the soil (RWS), replacement of rainwater to the soil (RRS), actual evapotranspiration (AET) and potential evapotranspiration (PET). The climatic classification was obtained by means of the indices: water (I_w), aridity (I_a), humidity (I_h), and thermal efficiency (I_{et}). The Chimoio rainfall did not show significant changes in its behavior. However, there was a large oscillation, with annual values ranging from 546.6 mm to 1724 mm, and an average of 1016.63 mm. An annual WD of 240 mm was observed between April and November, WS of 226.4 mm, and RRS 96.4 mm between December and January. The climate was characterized as C₂ B'₃ s₂ w a'. The results obtained can support the development of public policies aimed at the management of water resources, in addition to mitigating the impacts caused by the variability of rainfall in the municipality of Chimoio, Mozambique.

Keywords: water deficit, climatic classification, climate changes, Mann-Kendall.

Introdução

O continente africano possui alta vulnerabilidade às mudanças climáticas, que pode alterar os padrões de precipitação (Kusangaya et al., 2014; Synodinos et al., 2018; Yacoub e Tayfur, 2020). A precipitação pluvial é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, que tem efeito significativo sobre inundações, secas, recursos hídricos e ecossistemas de vários sistemas ambientais e socioeconômicos (Costa et al., 2012; Yang et al., 2019; Queiroz et al., 2020; Nouaceur e Murarescu, 2020). Essa variável é fundamental para muitos setores que dependem de suas quantidades e regularidade, como por exemplo a agricultura, a geração de energia hidrelétrica e o abastecimento de água para a população. Portanto, informações sobre sua variação temporal são de grande relevância, uma vez que trazem subsídio para possíveis previsões de mudanças no sistema hidrológico local, bem como, para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, dando suporte para as atividades agropecuárias, conservação de solos, construções civis e setores socioambientais (Costa et al., 2012; Chen e Frauenfeld, 2014; Jardim et al., 2017; Johnson e Green, 2018).

Estudos anteriores mostraram grande variabilidade espaço-temporal das chuvas na África. Ngongondo et al. (2011a), utilizando análise de agrupamento observaram tendência não significativa para a diminuição das chuvas no Malawi no período de 1978–2007. No Zimbábue, a precipitação pluvial apresenta forte variabilidade inter-anual (Mazvimavi, 2010). Shongwe et al. (2009), concluíram que para o Sudoeste da África Austral, a tendência é de diminuição da precipitação pluvial, ocasionando secas mais severas, enquanto que ao Norte, incluindo Zâmbia, Malawi e Norte de Moçambique, há tendência de aumento na média das chuvas.

O planejamento hídrico é o ponto de partida para o gerenciamento dos recursos hídricos locais (Paredes-Trejo et al., 2017; Araújo Júnior et al., 2020) e, o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) é uma das ferramentas agroclimáticas de baixo custo que contribuem para a sua realização, através da qual, é possível conhecer a necessidade e disponibilidade de água no solo ao longo do tempo, bem como, da aptidão de áreas para o cultivo de culturas agrícolas (Santos et al., 2010; Jesus, 2015; Oliveira e Oliveira, 2018; Araújo Júnior et al., 2020). De posse do BHC é possível monitorar o armazenamento de água do solo, identificando períodos de deficiência e excedente hídrico, de reposição e retirada da água do solo,

assim como também, utilizá-lo para fins de classificação climática (Passos et al., 2016).

Dentre as metodologias existentes para a classificação do clima, a sugerida por Thornthwaite (1948) é considerada a mais adequada no âmbito agrícola, uma vez que utiliza os componentes definidos no BHC e considera a planta como meio físico no processo de transferência da água no sistema solo-planta-atmosfera (Rolim et al., 2007). Vale salientar que, classificar o clima tem por objetivo definir os limites geográficos dos diferentes tipos climáticos existentes no mundo, fornecendo informações que possam minimizar danos no estabelecimento da atividade agrícola em determinada região, contudo, pouco auxilia nas previsões climáticas.

Diversos estudos já foram realizados com o propósito de analisar o comportamento das chuvas em países do continente africano (Conway et al., 2015; Seyama et al., 2019; Marumbwa et al., 2019), todavia, informações quanto ao Balanço Hídrico Climatológico e classificação climática de Thornthwaite são escassas nesse tipo de aplicação. Dessa forma, objetivou-se avaliar a variabilidade temporal da precipitação pluvial e, realizar o Balanço Hídrico Climatológico, visando a caracterização da disponibilidade hídrica face às mudanças nos padrões de chuva do município de Chimoio, Moçambique, como também, classificá-lo climaticamente.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado para o município de Chimoio (Figura 1), localizado no centro de Moçambique, na província de Manica (19°12' S; 33°47' O e 732 m). O município ocupa uma área de 170,25 km², com uma população de aproximadamente 1,9 milhão de habitantes, o equivalente a 31 habitantes km² (Ine, 2019). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima local é do tipo Cwa (i.e. Clima subtropical úmido com invernos secos e verões quentes), com a temperatura média do ar de 21,1 °C, umidade relativa média do ar de 80% e precipitação pluvial oscilando de 800 a 1000 mm ano⁻¹ (Kottek et al., 2006; Jansen et al., 2008; Harrison et al., 2011).

Dados e alterações nos padrões de chuva

Registros diários de precipitação pluvial e de temperatura mínima, média e máxima do ar de 30 anos (1989-2018), foram obtidos junto ao banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (Inam, 2019). Após serem organizados em planilha eletrônica, os dados foram submetidos a estatística descritiva com auxílio do

aplicativo Climap 3.0 (Salvador, 2017), para avaliação das mudanças nos padrões de chuva. Posteriormente as análises, foi possível calcular o total de precipitação mensal e anual; precipitação média e o desvio padronizado da precipitação (DPP).

Figura 1. Mapa de localização da área estudo, município de Chimoio, Moçambique.

Para determinar o ano aproximado em que pode ocorrer o evento de uma mudança significativa nos padrões de chuva, o Climap 3.0 disponibiliza o teste sequencial de Mann-Kendall (SQ-MK). Esse teste emprega uma série progressiva, expressa como $U(t)$ e, uma série oposta ($U'(t)$). Quando os valores correspondentes a $U(t)$ são maiores que o limite de confiança ($\alpha = 0,05$), a tendência é considerada significativa. Por outro lado, caso o ponto de interseção entre $U(t)$ e $U'(t)$ ocorra dentro dos valores críticos do intervalo de confiança, esse é o indicativo da quebra de série, ou seja, o início da mudança de tendência (Salvador, 2017; Bari et al., 2016; Alcântara et al., 2019).

Em consonância ao teste SQ-MK, foi realizada uma regressão linear entre os anos estudados e a precipitação pluvial. Além disso, determinou-se o coeficiente de correlação de Tau de Kendall (τ) (Equação 1), a fim de se conhecer a magnitude da relação entre as variáveis x e y (Bari et al., 2016) e o coeficiente de correlação de Pearson (r) (Equação 2), para avaliar o grau de relação linear entre as variáveis.

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (2)$$

em que, S é a variância; n é o número total de anos estudados; x_i e y_i são os valores do conjunto de medidas x e y , respectivamente, sendo $i = 1, 2, \dots, n-1$, e, $\bar{x}$ e $\bar{y}$, as médias do conjunto de x e y , nessa ordem.

Balanco Hídrico Climatológico (BHC)

O BHC foi calculado com os valores mensais de precipitação pluvial e temperatura média do ar, empregando o método proposto por Thornthwaite (1948) (Vianello e Alves, 2012); para isso, foi utilizada planilha eletrônica no ambiente Excel (Rolim et al., 1998), onde foram determinados os seguintes componentes: deficit hídrico (DEF); excesso hídrico (EXC); retirada de água do solo (RET) e reposição de água da chuva ao solo (REP), além da estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) e da evapotranspiração real (ETR). Adotou-se uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 100 mm, valor esse, utilizado para fins de caracterização climática (Thornthwaite e Mather, 1957).

Classificação climática

A classificação climática foi realizada conforme a metodologia de Thornthwaite (1948), que considera a estimativa da ETP, e os valores de EXC e DEF obtidos no BHC. Para classificar o clima, foram determinados os índices climáticos: hídrico (Equação 3), de aridez (Equação 4) e de umidade (Equação 5); além do índice de eficiência térmica (Equação 6), conforme as equações abaixo, respectivamente.

$$I_h = \frac{EXC}{ETP} * 100 \quad (3)$$

$$I_a = \frac{DEF}{ETP} * 100 \quad (4)$$

$$I_u = I_h - 0,6 * I_a \quad (5)$$

$$I_{et} = \frac{ET_v}{ETP} * 100 \quad (6)$$

em que, I_h é o índice de umidade; EXC é o excesso hídrico, em mm; ETP é a evapotranspiração potencial, em mm; I_a é o índice de aridez; DEF é o deficit hídrico, em mm; I_h é o índice de umidade; I_{et} é o índice de eficiência térmica, e a ET_v é a evapotranspiração de verão, em mm.

A partir do índice de umidade (I_u) e da ETP anual foi definido o tipo climático (Tabela 1), e com os índices de aridez (I_a), hídrico (I_h) e de eficiência térmica (I_{et}), os respectivos subtipos climáticos (Tabela 2).

Análise de agrupamento (clusters)

De posse dos dados, realizou-se o agrupamento hierárquico dos meses em função da precipitação pluvial. Para isso, foi utilizada a distância euclidiana como critério de agrupamento, juntamente com o método de Ward (1963), que por sua vez, calcula a distância entre os grupos pela

soma dos quadrados entre os dois agrupamentos sobre a variável estudada. A análise de

agrupamento foi realizada com o auxílio do programa R (R Core Team, 2019).

Tabela 1. Critérios para a classificação climática segundo Thornthwaite (1948), baseado no índice de umidade e na ETP anual do município de Chimoio, Moçambique.

Tipos climáticos		Índice de umidade
A	Superúmido	$100 \leq I_u$
B ₄	Úmido	$80 \leq I_u < 100$
B ₃	Úmido	$60 \leq I_u < 80$
B ₂	Úmido	$40 \leq I_u < 60$
B ₁	Úmido	$20 \leq I_u < 40$
C ₂	Sub-úmido	$0 \leq I_u < 20$
C ₁	Sub-úmido seco	$20 \leq I_u < 0$
D	Semiárido	$40 \leq I_u < 20$
E	Árido	$60 \leq I_u < 40$
Tipos climáticos		ETP anual (mm)
A'	Megatérmico	$ETP \geq 1140$
B'4	Mesotérmico	$1140 > ETP \geq 997$
B'3	Mesotérmico	$997 > ETP \geq 885$
B'2	Mesotérmico	$885 > ETP \geq 712$
B'1	Mesotérmico	$712 > ETP \geq 570$
C'2	Microtérmico	$570 > ETP \geq 427$
C'1	Microtérmico	$427 > ETP \geq 285$
E'	Gelo perpétuo	$ETP < 997$
D'	Tundra	$287 > ETP \geq 142$

Fonte: Thornthwaite (1948).

Tabela 2. Critérios para classificar os Subtipos climáticos, segundo Thornthwaite (1948), baseados nos índices de aridez, hídrico e de eficiência térmica do município de Chimoio, Moçambique.

Clima úmido (A, B, C ₂)		Índice de aridez (I _a)
r	Sem ou com pequena deficiência hídrica	$0 \leq I_a < 16,7$
s	Deficiência hídrica moderada no verão	$16,7 \leq I_a < 33,3$
w	Deficiência hídrica moderada no inverno	$16,7 \leq I_a < 33,3$
s ₂	Grande deficiência hídrica no verão	$I_a \geq 33,33$
w ₂	Grande deficiência hídrica no inverno	$I_a \geq 33,33$
Clima secos (C ₁ , D, E)		Índice de hídrico (I _h)
d	Excedente hídrico pequeno ou nulo	$0 \leq I_h < 10$
s	Excedente hídrico moderado no verão	$10 \leq I_h < 20$
w	Excedente hídrico moderado no inverno	$10 \leq I_h < 20$
s ₂	Grande excedente hídrico no verão	$I_h \geq 33,33$
w ₂	Grande excedente hídrico no inverno	$I_h \geq 33,33$
Subtipo		Índice de eficiência térmica (I _{et})
a'		$I_{et} < 48\%$
b'4		$48\% \geq I_{et} < 51,9\%$
b'3		$51,9\% \geq I_{et} < 56,3\%$
b'2		$56,3\% \geq I_{et} < 61,6\%$
b'1		$61,6\% \geq I_{et} < 68\%$
c'2		$68\% \geq I_{et} < 76,3\%$
c'1		$76,3\% > I_{et} < 88\%$
d'		$I_{et} \geq 88$

Fonte: Thornthwaite (1948).

Resultados e discussão

Na Figura 2 é apresentada a distribuição interanual da precipitação total e o desvio

padronizado da precipitação (DPP) no período de 1989 a 2018, para o município de Chimoio, Moçambique. É possível observar uma grande oscilação nos regimes de chuvas, com valores

anuais variando de 546,6 mm, ocorridos no ano de 2006, até 1724 mm, verificados no ano de 1997, com média igual a 1016,63 mm ano⁻¹ (Figura 2A).

A ausência de declive no DPP, a baixa correlação ($r = 0,04$) e o p-valor igual a 0,841, indicam que a tendência temporal foi estatisticamente não significativa para o período estudado (Figura 2B) (Salvador, 2017). Mesmo que não observada tendência significativa, percebe-se que ao longo do tempo, o DPP variou entre valores positivos e negativos (Figura 2B),

evidenciando a má distribuição das chuvas ao longo dos anos para o município de Chimoio. Quatro extremos negativos de DPP foram observados nos anos de 1990 a 1992, 2002 a 2006, 2008 a 2012 e 2015 a 2016, enquanto o maior DPP positivo foi observado nos anos de 1996 a 2001. A distribuição dos eventos de chuvas é condicionada por fatores estáticos, como a latitude, a distância do oceano e os efeitos orográficos, além dos fatores dinâmicos, como a movimentação das massas de ar (Montebeller, 2007; Carvalho et al., 2020).

Figura 2. Precipitação pluvial total (A) e desvio padronizado da precipitação (B) no período de 30 anos (1989 - 2018), para o município de Chimoio, Moçambique.

A forte variação intra e inter-anual observada nos padrões de precipitação do continente africano, é influenciada pelas forças climáticas globais, das quais, pode-se destacar o El Niño Oscilação do Sul (ENOS) e o Dipolo do Oceano Índico (IOD), que afetam o tempo e a quantidade de chuvas em várias escalas temporais (Conway et al., 2015; Gaughan et al., 2016). Contudo, seus efeitos sobre a precipitação pluvial, variam de acordo com a região (Manatsa et al., 2012). Para a África Austral, região na qual Moçambique está localizada, os eventos de ENOS (El Niño) são frequentemente associados à condições mais secas, enquanto o ENOS (La Niña), à condições mais úmidas, podendo ocorrer de forma simultânea com os eventos de IOD (Conway et al., 2015; Gaughan et al., 2016). De acordo com Ashok et al. (2004), diferentes fases do IOD influenciam os padrões de chuva,

independentemente ou em conjunto com eventos ENOS. A exemplo disso, Nouaceur e Murarescu (2020), verificaram que a retomada das chuvas no Senegal, Mauritânia e Burkina Faso nos últimos anos, estar ligada com a temperatura da superfície do Oceano Atlântico.

Os maiores índices pluviométricos observados em Chimoio, ocorreram entre os meses de dezembro a março, com um total de 772,1 mm, o que corresponde a aproximadamente 76% do total anual da precipitação média (1016,7 mm) ocorrida durante o período estudado. Por outro lado, os menores índices de chuva, com um total de aproximadamente 68 mm, são observados durante os meses de maio a setembro. Abril e novembro são os meses que marcam a transição do período chuvoso/seco e seco/chuvoso, respectivamente (Figura 3), esses períodos corroboram com as observações relatadas por Weemstra et al. (2014).

Figura 3. Precipitação pluvial média mensal no período de 30 anos (1989 - 2018), para o município de Chimoio, Moçambique.

A precipitação pluvial do município de Chimoio não apresentou mudanças significativas no seu comportamento durante o período analisado (Figura 4A e 4B). Todavia, a estatística $U(t)$ indica uma possível tendência decrescente do padrão de chuva a partir de 2017 (Figura 4B), o que diverge dos achados de Shongwe et al. (2009), que utilizando modelos de projeções para todo o século XXI, observaram tendência crescente das chuvas para regiões de Moçambique. Dessa forma, fica evidente que as mudanças climáticas que vêm ocorrendo ao longo dos anos, modificam, constantemente, os padrões das chuvas do continente africano, causando incertezas quanto a

realização de previsões sobre futuras variações do clima e, consequente, magnitude de mudança espaço-temporal dessa variável (Manatsa et al., 2012; Kusangaya et al., 2014; Weemstra et al., 2014).

As mudanças nos padrões de chuva têm implicações importantes para o ciclo hidrológico e para os recursos hídricos, uma vez que, essa região é bastante dependente de cursos hídricos fluviais, no que implica alterações principalmente na variabilidade do balanço hídrico local, que por sua vez, depende das atividades antrópicas e das condições do meio ambiente (Kusangaya et al., 2014; Weemstra et al., 2014).

Figura 4. Regressão linear (A) e teste sequencial de Mann-Kendall (SQ-MK) (B), com limite de confiança de 95%, do período de 1989 a 2018, para o município de Chimoio, Moçambique.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios mensais e anual da temperatura do ar, bem como, dos componentes do balanço hídrico climatológico do município de Chimoio, Moçambique, para o período de 1989 a 2018. A temperatura média anual observada foi de 21,4 °C, sendo o período de maio a agosto, o que apresentou os menores valores de temperatura, com média de 18,3 °C mês⁻¹. Em contrapartida, a ocorrência das maiores temperaturas durante o período estudado, foram observadas nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, com média mensal igual a 23,7 °C. Em relação a Evapotranspiração potencial (ETP), observou-se um total de 1030,19

mm durante o ano, com uma média igual a 85,85 mm mês⁻¹. Os maiores registros de ETP, foram observados nos meses de janeiro e dezembro, com valores iguais a 120,60 mm e 120,51 mm, respectivamente. Por outro lado, as menores ETP foram observadas nos meses de junho e julho, com valores iguais a 47,4 mm e 45 mm, nessa ordem. Os resultados encontrados no presente estudo são similares aos reportados por Weemstra et al. (2014).

Devido às maiores ocorrências de chuva (Figura 3), o maior armazenamento de água no solo compreendeu o período de dezembro a abril, com valores variando de 86,5 mm a 100 mm (Tabela 3).

Tabela 3. Temperatura média mensal e componentes do Balanço Hídrico Climatológico, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para o município de Chimoio, Moçambique, no período de 1989 – 2018.

Meses	T (°C)	ETP (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	23,9	120,6	100,0	12,3	120,6	0,0	117,9
Fev	23,7	103,6	100,0	0,0	103,7	0,0	85,2
Mar	23,1	104,4	100,0	0,0	104,4	0,0	23,3
Abr	21,2	78,4	86,5	-13,5	77,4	1,0	0,0
Mai	19,4	62,4	53,9	-32,6	47,7	14,7	0,0
Jun	17,8	47,4	37,3	-16,6	27,2	20,2	0,0
Jul	17,2	45,0	27,8	-9,5	25,2	19,8	0,0
Ago	18,8	56,9	17,6	-10,2	21,4	35,5	0,0
Set	21,5	79,4	9,3	-8,3	23,7	55,8	0,0
Out	22,9	100,5	5,0	-4,3	43,0	57,4	0,0
Nov	23,8	110,9	3,5	-1,5	75,6	35,4	0,0
Dez	24,0	120,5	87,7	84,3	120,5	0,0	0,0
Total	-	1030,2	629,0	0,0	790,3	239,9	226,4
Média	21,4	85,85	52,4	-	65,9	20,0	18,9

T - Temperatura do ar, °C; ETP - Evapotranspiração potencial, mm; ARM - Armazenamento de água no solo, mm; ALT - Alteração no armazenamento, mm; ETR - Evapotranspiração real, mm; DEF - Deficit hídrico, mm, e EXC - Excedente hídrico, mm.

Durante esse período é possível observar que os valores de ETP e de evapotranspiração real (ETR) são iguais (Figura 5), o que favorece a uma maior disponibilidade hídrica. Nos meses de maio a novembro a ETP foi superior a ETR, indicando a época de maior demanda atmosférica (Figura 5).

A variação mensal dos componentes do BHC pode ser visualizada na Figura 6. Devido aos elevados índices pluviométricos ocorridos entre dezembro e janeiro, ocorreu reposição de água no solo (REP) de 84,2 mm e 12,2 mm, respectivamente. Nesses meses, o solo atingiu sua capacidade de armazenamento, o que favoreceu, posteriormente, a formação de excedentes hídricos (EXC), durante o período de janeiro a março, totalizando 226,4 mm (Figura 6).

Figura 5. Variação mensal da precipitação pluvial, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) do município de

Chimoio, Moçambique, para o período de 1989 a 2018.

Com o fim do período chuvoso, observou-se valores significativos de retirada de água do solo (RET) e, posterior, deficit hídrico (DEF) durante os meses de abril a novembro (Figura 6). Dessa forma, o município de Chimoio apresenta, na maior parte do ano, um deficit hídrico total de ~240 mm, conforme observado na Tabela 3. As características edáficas do solo da região fazem com que a água infiltre mais rápido no mesmo, diminuindo o armazenamento e proporcionando deficit mais acentuado (Weemstra et al., 2014).

Figura 6. Extrato do balanço hídrico climatológico mensal, para o município de Chimoio, Moçambique, para o período de 1989-2018. EXC – excedente hídrico; DEF – deficit hídrico; RET – retirada de água no solo; REP – reposição de água no solo.

Na Tabela 4 são apresentados os valores obtidos para os índices hídrico (Ih), de aridez (Ia), de umidade (Iu) e de eficiência térmica (I_{et}), bem como, seus respectivos tipos e subtipos climáticos. Segundo os critérios adotados pela a classificação

climática de Thornthwaite (1948), o clima do município de Chimoio foi classificado como Sub-úmido Mesotérmico, com grande excedente hídrico no verão e deficiência hídrica moderada no inverno (C₂ B'₃ S₂ w a').

Tabela 4. Classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) para o município de Chimoio, Moçambique.

Ih (%)	Ia (%)	Iu (%)	ETP (mm)	I _{et} (%)
21,97	23,28	8	1030,2	43,61
S ₂	w	C ₂	B' ₃	a'

Pela análise de agrupamento, os meses do período estudado foram separados em três grupos decorrente das similaridades entre si (Figura 7).

O grupo 1 (destaque em azul escuro), foi constituído pelos meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro, e representa o período seco do município de Chimoio. O grupo 2 (destaque em azul ciano), é caracterizado pela época de transição entre os períodos chuvoso/seco (i.e. março e abril) e seco/chuvoso (i.e. novembro). Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, constituem o grupo 3 (destaque em verde), e são caracterizados por apresentarem os maiores índices pluviométricos em Chimoio, Moçambique.

Em estudos climáticos esse tipo de análise através do método de Ward e aplicação de estatística multivariada, auxilia no melhor entendimento de similaridade para características das chuvas de uma região, como também na compreensão de fenômenos atuantes que causam variações nas chuvas (Ngongondo et al., 2011b; Lüning et al., 2018; Marumbwa et al., 2019).

Figura 7. Análise de agrupamento (*clusters*) aplicado à distância Euclidiana pelo método de Ward, para os meses do período 1981 – 2018, em função da precipitação pluvial, para o município de Chimoio, Moçambique. Destaque em azul escuro, azul ciano e verde, indicam os grupos 1, 2 e 3, nessa ordem.

Conclusão

Os resultados obtidos no presente estudo, poderão subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas que possam estabelecer soluções e direcionamentos para o planejamento e tomadas de decisão referentes ao gerenciamento dos recursos hídricos, além de mitigar impactos ocasionados pela variabilidade da precipitação no município de Chimoio, Moçambique.

As técnicas de agrupamento hierárquico e discriminatório apresentaram bons resultados ao serem aplicadas conjuntamente na identificação de meses de precipitação homogêneas na área de estudo. Os três grupos identificados de precipitação homogênea na região foram distribuídas de modo coerente com a topografia local.

Estudos futuros devem ser realizados com análise de tendências de chuvas e outras variáveis climáticas, com base na influência de culturas agrícolas e pecuária tradicional da região, e quantificação da diminuição da produção e danos econômicos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código de Financiamento 001) e a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão das bolsas de estudo.

Referências

Araújo Júnior, G.N., Simões, V.J.L.P., Silva, D.A.O., Jardim, A.M.R.F., Silva, M.J., Cangela, G.L.C., Silva, J.R.I., Alves, H.K.M.N., Santos, J.E.B., Moura, G.B.A. 2020. Balanço hídrico e períodos pluviometricamente homogêneos para a produção de capim tanzânia em Petrolina-PE. *Brazilian Journal of Development*, 6, 32997-33010. Disponível: <https://10.34117/bjdv6n6-013>

Alcântara, L.R.P., Costa, I.R.A., Barros, V.H.O., Santos Neto, S.M., Coutinho, A.P., Antonino, A.C.D. 2019. Análise de tendência para dados pluviométricos no município de Toritama-PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 4, 130-139. Disponível: <https://10.24221/jeap.4.2.2019.2377.130-139>

Ashok, K., Guan, Z., Saji, N.H., Yamagata, T. 2004. Individual and combined influences of ENSO and the Indian Ocean dipole on the period of transition (1990–2004). *Forest Ecology and Management*, 254, 308-326.

Indian summer monsoon. *Journal of Climate*, 17, 3141-3155.

Bari, S.H., Rahman, M.T.U., Hoque, M.A.H., Hussain, M.M. 2016. Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. *Atmospheric Research*, 16, 148-158. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.008>

Carvalho, A.A., Montenegro, A.A.A., Silva, H.P., Lopes, I., Morais, J.E.F., Silva, T.G.F. 2020. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24, 15-23. Disponível: <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p15-23>

Chen, L., Frauenfeld, O.W. 2014. A comprehensive evaluation of precipitation simulation over China base don CMIP5 multimodel ensemble projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 5767–5786. Disponível: <https://doi:10.1002/2013JD021190>.

Conway, D., Van Garderen, E.A., Deryng, D., Dorling, S., Krueger, T., Landman, W., ... & Thurlow, J. 2015. Climate and southern Africa's water–energy–food nexus. *Nature Climate Change*, 5, 837-846. Disponível: <https://doi.org/10.1038/nclimate2735>

Costa, A.C., Santos, J.A., Pinto, J.G. 2012. Climate change scenarios for precipitation extremes in Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 217-234. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0528-3>

Gaughan, A.E., Staub, C.G., Hoell, A., Weaver, A., Waylen, P.R. 2016. Inter- and Intra-annual precipitation variability and associated relationships to ENSO and the IOD in southern Africa. *International Journal of Climatology*, 36, 1643-1656. Disponível: <https://doi.org/10.1002/joc.4448>

Harrison, L., Michaelsen, J., Funk, C., Husak, G.J. 2011. Effects of temperature changes on maize production in Mozambique. *Climate Research*, 46, 211-222.

INAM. Instituto Nacional de Meteorologia. 2019. Disponível: inam.gov.mz/index.php/pt/. Acesso: 13 jan. 2020

INE. Instituto Nacional de Estatística. 2019. Disponível: ine.gov.mz. Acesso: 13 jan. 2020.

Jansen, L.J.M., Bagnoli, M., Focacci, M. 2008. Analysis of land-cover/use change dynamics in Manica Province in Mozambique in a

Jardim, A.M.R.F., Araújo Júnior, G.N., Silva, M.J., Morais, J.E.F., Silva, T.G.F. 2017. Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o

- município de Serra Talhada, PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2, 186-193. Disponível: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1416.186-193>
- Jesus, J.B. 2015. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju - SE. *Scientia Plena*, 11, 1-6.
- Johnson, F., Green, J.A. 2018. A comprehensive continent-wide regionalization investigation for daily design rainfall. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 16, 67-79. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.03.001>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263.
- Kusangaya, S., Warburton, M.L., Garderen, E.A.V., Jewit, G.P.W. 2014. Impacts of climate change on water resources in southern Africa: A review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 67-69, 47-54. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.09.014>
- Lüning, S., Galka, M., Danladi, I. B., Adagunodo, T. A., Vahrenholt, F. 2018. Hydroclimate in Africa during the medieval climate anomaly. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 495, 309-322. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.01.025>
- Manatsa, D., Chipindu, B., Behera, S.K. 2012. Shifts in IOD and their impacts on association with East Africa rainfall. *Theoretical and Applied Climatology*, 110, 115-128.
- Marumbwa, F. M., Cho, M.A., Chirwa, P.W. 2019. Analysis of spatio-temporal rainfall trends across southern African biomes between 1981 and 2016. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 114, 102808. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.10.004>
- Mazvimavi, D. 2010. Investigating changes over time of annual rainfall in Zimbabwe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 2671-2679.
- Montebeller, C.A., Ceddia, M.B., Carvalho, D.F., Vieira, S.R., Franco, E.M. 2007. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. *Engenharia Agrícola*, 27, 426-435.
- Ngongondo, C. S., Xu, C. Y., Tallaksen, L. M., Alemaw, B., Chirwa, T. 2011a. Regional frequency analysis of rainfall extremes in Southern Malawi using the index rainfall and L-moments approaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 939-955. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00477-011-0480-x>
- Ngongondo, C., Xu, C.Y., Gottschalk, L., Alemaw, B. 2011b. Evaluation of spatial and temporal characteristics of rainfall in Malawi: a case of data scarce region. *Theoretical and Applied Climatology*, 106, 79-93.
- Nouaceur, Z., Murarescu, O. 2020. Rainfall variability and trend analysis of rainfall in West Africa (Senegal, Mauritania, Burkina Faso). *Water*, 12, 1754. <https://doi.org/10.3390/w12061754>
- Oliveira, J.A.M., Oliveira, C.M.M. 2018. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos-MG. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12, 3021-3027.
- Paredes-Trejo, F.J.; Barbosa, H.A.; Lakshmi Kumar, T.V. 2017. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, 139, 26-40, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>
- Passos, M.L.V., Zambrzycki, G.C., Pereira, R.S. 2016. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 10, 758-766.
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Souza, C.A.A., Souza, L.S.B., Araújo Júnior, G.N., Jardim, A.M.R.F., Moura, M.S.B. 2020. Partitioning of rainfall in a seasonal dry tropical forest. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 20, 230-242. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.02.001>
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rolim, G.S., Sentelhas, P.C. 1998. Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Mather (1955) v5.0. Departamento de Física e Meteorologia - ESALQ / USP, Piracicaba.
- Rolim, G.S., Camargo, M.B.P., Lania, D.G., Moraes, J.F.L. 2007. Classificação climática de köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, 66, 711-720.
- Salvador, M.A. 2017. CLIMAP—aplicativo para análise de dados climáticos-versão 3.0. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20, 349-374.
- Santos, G.O., Hernandez, F.B.T., Rossetti, J.C. 2010. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, Noroeste do estado de São Paulo.

- Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, 4, 142-149.
- Seyama, E.S., Masocha, M., Dube, T. 2019. Evaluation of TAMSAT satellite rainfall estimates for southern Africa: A comparative approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 112, 141-153. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.02.008>
- Shongwe, M.E., Van Oldenborgh, G.J., Van Den Hurk, B.J.J.M., De Boer, B., Coelho, C.A.S., Van Aalst, M.K. 2009. Projected changes in mean and extreme precipitation in Africa under global warming. Part I: Southern Africa. *Journal of Climate*, 22, 3819-3837. Disponível: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2317.1>
- Synodinos, A.D., Tietjen, B., Lohmann, D., Jeltsch, F. 2018. The impact of inter-annual rainfall variability on African savannas changes with mean rainfall. *Journal of Theoretical Biology*, 437, 92-100.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. 1955. *The water balance*. Publications In Climatology. New Jersey: Drexel Institute Of Technology, 104.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, 10, 185-311.
- Vianello, R.L., Alves, A.R. 2012. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 460.
- Ward, J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, 58, 236-244.
- Weemstra, H., Oord, A.L., de Boer, F.S., Beekman, P.W. 2014. Baseflow prediction in a data-scarce catchment with Inselberg topography, Central Mozambique. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 76, 16-27. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2014.09.005>
- Yacoub, E., Tayfur, G. 2020. Spatial and temporal of variation of meteorological drought and precipitation trend analysis over whole Mauritania. *Journal of African Earth Sciences*, 163, 103761.
- Yang, H., Xiao, H., Guo, C., Sun, Y. 2019. Spatial-temporal analysis of precipitation variability in Qinghai Province, China. *Atmospheric Research*, 228, 242-260. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.06.005>