ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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

Avaliação do padrão hidroclimático e da erosividade no Sertão de Pernambuco

Mariana Caroline Gomes de Lima¹, Thais Emanuelle Monteiro dos Santos², Valéria Sandra de Oliveira Costa³, Carlos Eduardo Santos de Lima⁴, Josimar Vieira dos Reis⁵, Werônica Meria de Souza⁶

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Universidade Federal de Pernambuco – PRODEMA/UFPE, Recife-PE, Brasil. E-mail: marianalima.ambiental@gmail.com. ²Professora da UFPE e do PROFCIAMB/UFPE, Recife-PE, Brasil. E-mail: thaisemanuelle@hotmail.com. ³Professora do PRODEMA/UFPE e do PROFCIAMB/UFPE, CAPES/PNPD-PRODEMA, Recife-PE, Brasil. E-mail: costavso@yahoo.com.br. ⁴Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife-PE, Brasil. E-mail: carloslima.geo@gmail.com. ⁵Doutorando do PRODEMA/UFPE, Recife-PE. E-mail: prej86@gmail.com. ⁶Professora da Unidade Acadêmica de Garanhuns – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns-PE, Brasil, e do PRODEMA/UFPE, Recife-PE, Brasil. E-mail: weronicameira@gmail.com. (autor correspondente)

Artigo recebido em 23/07/2019 e aceite em 20/11/2019

RESUMO

A erosão hídrica é um dos grandes problemas que atingem regiões com potenciais agrícolas e áreas com propensão para deslizamento de terras. A chuva é considerada o fator climático que exerce maior influência no processo erosivo, especialmente nos trópicos por causa da sua distribuição temporal, espacial, características físicas e duração. Este trabalho teve como objetivo determinar o padrão hidrológico e o índice de erosividade no sertão Pernambucano, visando contribuir com informações estratégicas para gestão agrícola e ambiental na região. Foram utilizados dados pluviométricos horários de 2000 a 2017 localizados no município de Petrolina, disponibilizados pela (APAC). A partir dos dados da precipitação, utilizou-se o aplicativo Climap 3.0 para avaliar os eventos extremos de precipitação e o padrão hidrológico, bem como determinou-se por meio de equações o índice de erosividade para a região. No período analisado os maiores valores da precipitação ocorreram entre os meses de janeiro e abril e identificou-se 8 anos consecutivos de seca na região. Os resultados apontam que houve tendências significativas nas séries de dados, a erosividade foi considerada fraca a moderada em sua maioria, e o padrão hidrológico mais frequente foi o padrão intermediário, resultando uma alta suscetibilidade dos solos da região em sofrer erosão hídrica.

Palavras-Chave: variabilidade climática, padrão hidrológico, perda de solo, índices extremos.

Evaluation of hydroclimatic pattern and erosivity Sertão of Pernambuco

ABSTRACT

Water erosion is one of major problems affecting regions with agricultural potential and landslide-prone areas. Rain is considered the climatic factor that exerts greatest influence on erosive process, especially in tropics because its temporal, spatial distribution, physical characteristics and duration. This work purpose to determine hydrological pattern and erosivity index in Pernambucano Sertão, to contribute with strategic information for agricultural and environmental management in region. Rainfall data from 2000 to 2017 located in city of Petrolina, provided by (APAC) were used. From the rainfall data, the Climap 3.0 was used to evaluate the extreme rainfall events and hydrological pattern, as well to determine through equations the erosivity index for region. During analyzed period the highest rainfall values occurred between January and April and 8 consecutive years of drought were identified in region. The results indicate that there were significant trends in data series, erosivity was considered weak to moderate mostly, and most frequent hydrological pattern was the intermediate pattern, resulting in high susceptibility of region's soils to water erosion.

Keywords: climate variability, hydrological pattern, extreme indexes.

Introdução

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos de tempo e clima, pois dependendo da intensidade podem ocasionar impactos na agricultura, nos recursos hídricos, transportes e consequentemente na sociedade. Quando ocorre em excesso pode gerar enchentes, escorregamentos de barreiras, alagamentos, e quando as chuvas são escassas podem resultar em secas, assoreamento dos rios, entre outros, afetando os setores produtivos econômico, social e ambiental de uma região (Souza et al., 2012).

A chuva é o fator climático que exerce maior influência no processo erosivo, especialmente nos trópicos por causa da sua distribuição temporal, espacial, variabilidade, características físicas e duração (Emídio e Landim, 2008).

A região Nordeste do Brasil enfrenta graves problemas relacionados à irregularidade das chuvas, resultando em secas severas e prolongadas, assim como chuvas excessivas (Ferreira et al., 2017). Nesta região, eventos como La Niña têm sido associados à ocorrência de estações chuvosas mais úmidas que o normal e El Niño têm sido associados às ocorrências de estações mais secas que o normal (Francisco et al., 2014; Francisco et al., 2015).

Rodrigues et al. (2018) destaca que no Nordeste brasileiro os eventos de El Niño com intensidades variadas não explicam sozinhos os anos secos, assim como os eventos de La Niña não estão associados, necessariamente, a anos chuvosos. A interação desses fenômenos climáticos com os sistemas meteorológicos e o Dipolo do Atlântico é que são determinantes no regime de chuvas no semiárido.

Estes extremos climáticos são frequentemente investigados pela comunidade científica internacional devido aos seus resultados negativos sob os municípios causados pelo excesso ou pela escassez de chuvas. E correspondem a um dos grandes desafios associados às variabilidades climáticas e a tentativa de prevê seus impactos negativos sobre o modelo de vida humano (Xavier et al., 2014; Flato et al., 2017). Estas precipitações em curto período de tempo têm como resultado a erosão hídrica.

A erosão hídrica é um dos grandes problemas que atingem regiões com potenciais agrícolas e áreas com propensão para deslizamento de terras. Cabeda (1976) considera como erosiva a chuva com volume igual ou superior a 10 mm ou,

ainda, chuva com volume igual ou superior a 6 mm compreendido em um intervalo de tempo igual ou inferior a 15 min. O conhecimento das características morfométricas das bacias hidrográficas também podem auxiliar na avaliação do comportamento hidrológico e sua relação com a maximização ou minimização dos impactos ambientais, Cunha e Silva et al., (2016).

Oliveira et al. (2011) revisaram os estudos sobre erosividade realizados no Brasil para verificar a qualidade e representatividade dos resultados gerados, proporcionando maior compreensão da erosividade das chuvas no Brasil. Esta avaliação concluiu que os valores de erosividade anual no Brasil variaram de 1.672 a 22.453 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, com os menores valores encontrados na região Nordeste e os maiores na região Norte do país. A erosividade tende a aumentar de leste a oeste, especialmente na parte norte do país.

Das diversas atividades que envolvem análise da precipitação pluviométrica, há a necessidade do uso de meios computacionais dos mais diversos para a análise de séries de dados. A exemplo do estudo do clima através de séries temporais. Para tanto, várias são as opções de ferramentas de uso livre que oferecem recursos diversos para análise de séries de dados climatológicos, tais como, o Climap (Salvador, 2014).

Efeitos ocasionados pelo impacto direto das gotas e turbulência em um solo sem vegetação, combinados com a capacidade de transporte do escoamento superficial apresenta elevada correlação com o produto da energia cinética da chuva por sua intensidade máxima em 30 min (Wischmeier e Smith, 1978).

Outra importante característica relacionada ao processo erosivo é o padrão hidrológico da chuva. De acordo com Horner e Jens (1942), as chuvas são normalmente caracterizadas em padrões hidrológicos denominados avançados, intermediários e atrasados, quando o pico de maior intensidade da chuva ocorre no primeiro terço, no segundo terço e no terceiro terço do período de duração total da chuva, respectivamente.

Nas últimas décadas, o crescimento das cidades favoreceu condições que vêm provocando alterações no clima local como edificações, impermeabilização dos solos e o desmatamento. O resultado desse processo ligado a ausência de planejamento urbano, vem excluindo os elementos naturais e induzindo o aparecimento de eventos extremos refletindo diretamente nas cidades como inundações, alagamentos, enchentes,

desmoronamento, aparecimento de pragas, doenças e mortes (Santos, 2007). Assim, um dos temas fundamentais dos estudos ambientais refere-se a relação entre o ambiente natural e as sociedades humanas Silva et al., (2017).

Segundo Trindade et al. (2017), no Brasil faltam informações espaço-temporais para o cálculo do índice de erosividade, dificultando sua obtenção em diversas localidades do país, logo, a utilização de modelos matemáticos capazes de estimar estes valores de erosividade constitui uma importante ferramenta para tomada de decisões quanto às práticas de conservação do solo e da água (Lee e Heo, 2011), servindo como um excelente indicador de mudanças climáticas e seus potenciais efeitos sobre os processos erosivos (Hooimeier et al., 2016).

Portanto, este trabalho tem como finalidade avaliar o comportamento dos índices pluviométricos, determinar o padrão hidrológico e o índice de erosividade no Sertão pernambucano, visando contribuir com informações estratégicas para gestão agrícola e ambiental, visto que conhecer o comportamento dos índices erosivos e os padrões hidrológicos das chuvas nessa área apresenta uma importância significativa não só

para a agricultura, mas também no âmbito socioeconômico e ambiental da região.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no extremo oeste do estado de Pernambuco, no município de Petrolina correspondendo a unidade de planejamento hídrico UP13, denominada como bacia hidrográfica do riacho do Pontal (Figura 1), entre as coordenadas 08° 19' 00" e 09° 13' 24" de latitude sul, e 40° 11' 42" e 41° 20' 39" de longitude oeste. O riacho desemboca na margem esquerda do rio São Francisco, depois de percorrer uma distância de aproximadamente 200 km, apresentando com direção predominante NW-SE.

A bacia do riacho do Pontal perfaz uma área de 6.015,33 km², correspondendo a 6,12% da área total do estado de Pernambuco (Lira, 2014). Estão incluídos na bacia quatro municípios, dos quais apenas o município de Afrânio está totalmente inserido na bacia. Os municípios de Dormentes e Lagoa Grande têm suas sedes inseridas na bacia, e o de Petrolina está parcialmente inserido na mesma.

Figura 1. Mapa da Localização da região de estudo, no município de Petrolina, Sertão pernambucano.

De acordo com a classificação de Köppen, esta região apresenta o clima do tipo BSw^h, região

árida, quente e com um período chuvoso representativo entre os meses de janeiro a abril,

com distribuição irregular. A climatologia da precipitação pluviométrica total anual é de 530 mm e no período seco, a escassez hídrica é recorrente (Ramos et al., 2011). Possui insolação anual superior a 3.000 horas, e a vegetação dominante é conhecida como Caatinga hiperxerófila (Azevedo et al., 2003).

Estas condições climáticas e o auxílio de técnicas de irrigação e de aplicação de agroquímicos favorecem a produção de frutas na região. É encontrado solos denominados podzólicos, latossolos vermelho-escuro e latossolos vermelho-amarelo em que as características físicas e as ações climáticas dominantes favorecem a ocorrência de processos erosivos e consequentemente, a lixiviação.

Análise da precipitação pluviométrica

Para avaliar os eventos extremos de precipitação em Petrolina, foi utilizado o aplicativo Climap 3.0, que auxilia a análise das séries de dados meteorológicos de chuva e de temperatura do ar com a associação de informações e criação de gráficos.

O aplicativo Climap 3.0 foi desenvolvido por Salvador (2014), a partir de uma organização dos dados em formato txt onde, os dados faltantes serão preenchidos por NULL. Os dados utilizados foram diários e organizados para uma única localidade contendo na sequência das colunas: ano, mês, dia e chuva (mm), e como saída dos dados mensais, trimestrais e anuais dos índices a seguir:

- I. Totais mensais, trimestrais e anuais de precipitação pluviométrica;
- II. DPP: Desvio padronizado da precipitação dos totais mensais, trimestrais e anuais. $DPP = (\text{total-média}) / \text{desvio padrão}$;
- III. Pr1. Número de dias por ano com precipitação acima de ≥ 1 mm, ≥ 10 mm, e ≥ 20 mm;
- IV Análise da ocorrência de precipitação a 95% e 99% de confiança

Análise da erosividade e padrão hidrológico

Em razão da indisponibilidade de dados horários de precipitação de uma série acima de 30 anos, foram utilizados para determinar a erosividade e o padrão hidrológico o período 2005 a 2013. Para os cálculos da erosividade foram levados em consideração apenas as chuvas horárias. A erosividade da chuva determina a capacidade em provocar erosão, cujo valor é obtido através da energia cinética total da chuva (E_c) e a intensidade máxima em 30 min (I_{30}):

$$E_i = 30 = E_c \cdot I_{30} \quad (1)$$

Houve a separação das chuvas individuais erosivas, do qual seguiu o critério de Cabeda (1976) e Wischmeier e Smith (1978), com modificações sugeridas por Carvalho et al. (1989), relacionadas a seguir: (a) foram selecionadas as chuvas que apresentaram uma lâmina igual ou maior que 10 mm, e (b) foram também selecionadas as chuvas que apresentaram uma altura menor que 10 mm, caso sua lâmina em 15 min fosse igual ou maior que 6 mm.

A equação utilizada para o cálculo da energia cinética e convertida para o Sistema Internacional de Unidades (Foster et al., 1981) foi a proposta por Wischmeier e Smith (1978):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log(I) \quad (2)$$

Em que: E_c : energia cinética da chuva, em MJ ha⁻¹ mm⁻¹ I: intensidade de chuva em cada segmento com intensidade constante, em mm h⁻¹. Essa equação é utilizada quando a Intensidade da chuva tiver valores menores ou iguais a 76 mm/h, para intensidades de chuva superiores a 76 mm h⁻¹ a energia cinética passa a ter o valor máximo de 0,2832 MJ ha⁻¹.

A intensidade máxima em trinta minutos foi obtida conforme a expressão proposta por Carvalho (1987):

$$I_{30} = Li / 0,5 \quad (3)$$

Onde o I_{30} é a intensidade máxima da chuva em 30 min, (mm h⁻¹) e Li a lâmina máxima precipitada durante um intervalo de tempo de 30 min consecutivos, no decorrer da chuva. Quando a duração total da chuva for menor ou igual a 30 min, I_{30} foi considerado igual ao dobro da lâmina total precipitada (Wischmeier e Smith, 1978).

Para a definição da erosividade foi necessário a classificação proposta por Carvalho et al. (2008), como pode ser observado na Tabela 1, enquanto que os padrões hidrológicos de cada chuva erosiva analisada seguiram a classificação proposta por Horner e Jens (1942), que classificam as chuvas em padrões hidrológicos avançado, intermediário e atrasado. Com base no padrão hidrológico de cada chuva foi calculada a percentagem do total das chuvas que representa cada padrão hidrológico.

Tabela 1. Classe para interpretação do índice de erosividade.

Erosividade (MJ mm (ha h)^{-1})	Classe de Erosividade
$R \leq 2452$	Erosividade fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008).

Resultados e discussão

Os valores totais anuais da precipitação entre os anos de 2000 a 2017 estão representados na Figura 2a, observa-se que os totais anuais de

oscilam de 250 mm em 2001, ano bastante seco para a região de estudo e 1900 mm em 2008 (ano extremamente chuvoso). De maneira geral, a média da precipitação manteve-se em torno de 1100 mm anuais.

Figura 2. Precipitação total (a) e Desvio Padronizado (DPP) (b) da média de chuvas em Petrolina-PE.

Verifica-se ainda na Figura 2, uma tendência positiva do desvio padronizado (b), que ao longo dos anos houve uma oscilação entre valores negativos e positivos. Os DPP negativos se deram nos anos de 2001-2002, 2005-2006 e 2012-2013, enquanto que os DPP positivos acentuados se deram nos anos de 2003, 2008-2009 e 2011, revelando anos marcados pelo déficit hídrico e pelo excesso de precipitação. Ressalta-se que apesar da série indicar um aumento da precipitação total anual no período, não se deve afirmar que as chuvas aumentaram na área de estudo, pois o período analisado é inferior a 30 anos, não representando o clima da região.

Silva et al. (2017) realizaram um estudo sobre tendências de mudanças climáticas na

precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco entre 1962 a 2011, com 50 anos de dados pluviométricos. Na bacia do submédio São Francisco, onde está inserida a região de estudo desse trabalho, identificaram tendência de diminuição da precipitação total anual, aumento no número de dias secos consecutivos e diminuição de eventos consecutivos úmidos, diagnosticando indícios de aceleração no processo de aridez na região.

Como pode ser observado na Figura 3, as médias históricas mensais de precipitação demonstram uma tendência crescente entre os meses de fevereiro a junho, atingindo seu ápice precipitado entre os meses de abril maio e junho (cerca de 500 mm). A partir de então, evidencia

uma tendência de diminuição ao longo dos meses de julho e agosto, com aumentos pouco significativos.

Observa-se que entre os meses de março a maio uma expressividade considerável quanto à quantidade precipitada, resultando em índices acima de 150 mm, enquanto que os meses de

setembro a dezembro apresentaram os menores índices (próximo a 0). Os meses de março e julho apresentaram médias históricas de 150 mm, resultando em uma informação importante quanto a transição entre o aumento e diminuição das chuvas em Petrolina.

Figura 3. Média mensal das chuvas (a), e trimestrais (b) da precipitação pluviométrica para 2000 a 2017 em Petrolina -PE.

Observa-se ainda que durante a transição mensal de abril para maio ocorre a diminuição da precipitação em 49,0 mm/mês, evidenciando a alta variabilidade sazonal e o elevado volume precipitado que ocorreu no mês anterior com alta intensidade em um curto período de tempo.

Verifica-se na Figura 3b, as médias de precipitação trimestrais geradas pelo aplicativo Climap 3.0 apresentam índices históricos acima de 500 mm entre os meses de março, abril e maio (MAM), abril, maio e junho (AMJ) e uma diminuição resultando em pouco mais de 450 mm para os meses de maio, junho e julho (MJJ), enquanto que as menores médias foram observadas para os meses de julho, agosto e setembro (JAS), com 200 mm enquanto que os meses de agosto, setembro, outubro (ASO), setembro, outubro e novembro (SON), outubro novembro e dezembro (OND) apresentaram 50 mm. Observa-se ainda o aumento da precipitação em 50 mm entre os meses de outubro, novembro dezembro (OND) para novembro, dezembro e janeiro (NDJ).

De acordo com estudo elaborado por Nóbrega et al. (2016), ao analisar a variabilidade

climática entre municípios localizados em Pernambuco, esta pequena temporada de chuvas, restrita ao um período de dois a três meses já vem sofrendo alterações e com a presença de aumento das TSM's sobre os oceanos Pacífico Leste e Atlântico, ainda sofrerão mais alterações.

Uvo e Nobre (1989) ao analisar uma série temporal de precipitações para toda a região Nordeste do Brasil, observou que a estação chuvosa no norte do Nordeste culmina com a época do ano em que ZCIT está mais ao Sul, correspondendo aos meses de fevereiro, março e abril.

Estas alterações configuram impactos capazes de causar diversos prejuízos, tanto em área urbana quanto em áreas agrícolas, destacando a necessidade da quantificação temporal e espacial principalmente no que se refere a projetos para controle em áreas agrícolas e armazenamento e fornecimento de água para irrigação e abastecimento.

Verifica-se na Figura 4, os histogramas e seus respectivos meses separadamente para o trimestre chuvoso, com informações estatísticas

importantes. O ápice da precipitação se concentra entre os meses de AMJ, refletindo os meses em que ocorrem as maiores médias.

Os meses apresentam uma assimetria pouco acentuada, o que informa uma baixa dispersa entre os dados obtidos e um desvio

bastante elevado. Observa-se que o desvio presente nesta série de dados é muito próximo das médias durante os meses de abril e maio, resultando em uma amostragem com erro significativo.

Figura 4. Histograma das médias trimestrais de precipitação pluviométrica referente ao trimestre chuvoso (abril, maio, junho – AMJ), Petrolina-PE.

Ainda de acordo com o trimestre chuvoso, observa-se que as chuvas não são bem distribuídas trimestralmente o que em comparação com o estudo elaborado por Marengo et al. (2016), para o Nordeste brasileiro, quando a distribuição chuvosa é desigual, ocorre quando as chuvas são escassas e mal distribuídas no tempo em que o número de dias com déficit é maior.

Estes eventos quando ocorrem em áreas urbanas, podem causar desastres e catástrofes e impactos negativos sobre o sistema econômico da região (Souza et al., 2012).

Na Figura 5, as atuais tendências de variação da precipitação pluviométrica no sertão Pernambucano. O número de dias no ano com chuva igual ou superior a 1 mm no período de 2000 a 2017 é considerado elevado, variando entre 20 a 130 eventos, enquanto que os dias que ocorrem precipitação acima de 10 mm variam de 10 a 60 e precipitações ocorrentes acima de 20 mm variam de 0 a 30.

Observa-se ainda na Figura 4 que as maiores quantidades de eventos acima de 1, 10 e 20

mm são encontradas para os anos de 2003, 2008, 2009 e 2011, anos estes que foram extremamente chuvosos para a região durante o período de estudo.

Ainda de acordo com a Figura 4, observa-se que a inclinação da reta (linha de tendência) embora sua acentuação não seja tão significativa, para os dias dos anos com 1 e 10 mm, para as precipitações acima de 20 mm a linha de tendência evidencia uma tendência de aumento das precipitações ao longo dos anos enquanto que o p-valor para todas as tendências foram estatisticamente significativos.

Em estudo realizado por Silva et al. (2018) para região semiárida pernambucana, análises estatísticas que indicam a variabilidade da intensidade e frequência da ocorrência de chuvas são importantes indicadores de modificação nos padrões climáticos. Comparativamente ao estudo elaborado pelo mesmo autor, os dias com chuvas iguais ou superiores a 10 mm e 20 mm apresentaram tendência de diminuição para a localidade de Araripina-PE, sendo bastante diferente do que encontrado para o presente estudo.

Santos e Ramos (2018), ao verificar a dinâmica espaço temporal dos índices de extremos climáticos para o estado do Piauí, observou que os índices anuais extremos indicaram uma diminuição da precipitação total em que os índices que representam $\leq 10\text{mm}$ e $\leq 20\text{ mm}$ apresentaram uma

tendência negativa. De forma geral, os autores perceberam que a TSM ao diminuir ocorre um aumento de todos os índices, indicando intensificação dos eventos extremos e do total anual de precipitação sobre o estado do Piauí.

Figura 5. Número de dias por ano com precipitação $\geq 1\text{ mm}$ (a), $\geq 10\text{ mm}$ (b) e $\geq 20\text{ mm}$ (c) em Petrolina -PE de 2000 a 2017.

Na Figura 6 é exposta a ocorrência de precipitação a 95% (considerando 43.5 mm) e 99% (considerando 75.1 mm de precipitação), ambos apresentando correlação linear fraca e p-valor tendo um nível de significância maior a 99% de confiança, ou seja, os valores estão aumentando, mas não apresentam significância estatística.

Esta tendência significativa também foi verificada por Salvador (2014), ao analisar índices extremos de precipitação para os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia utilizando o mesmo aplicativo utilizado no presente estudo, do qual, foram obtidos como resultado uma tendência negativa dos extremos precipitados, evidenciando uma diminuição gradativa desses eventos climáticos e por Silva et al. (2015), em estudo realizado no Paraná, observou que dos dois indicadores que somam os totais pluviométricos para a região, apenas o índice Pr95 apresentou

algum tipo de tendência estatística significativa, enquanto que para Valverde et al. (2018), ao analisar o índice que representa o acumulado anual de dias muito úmidos acima do percentil 95, os municípios de Santo André e Mauá ambos no estado de São Paulo, mostrou tendências positivas de aumento.

Verifica-se na Figura 7 a maior precipitação acumulada em um dia por ano, em que evidencia maior ocorrência nos anos de 2003, 2007 e 2013, mas tendo seu auge em 2003, com índice de 180 mm acumulados em um dia. Constata-se que a tendência se manteve estável, não ocorrendo um aumento crescente durante os anos de estudo.

Segundo Barbosa et al. (2016), em estudo elaborado para Garanhuns-PE, a concentração da precipitação pluviométrica em um número de dias muito reduzido, implica em diversas limitações à população residente desses ambientes.

Figura 6. Ocorrência de precipitação a 95% (a) e 99% (b) de confiança para a série de estudo correspondente à 2000 a 2017 para Petrolina-PE.

Figura 7. Maior precipitação acumulada em um dia em Petrolina entre os anos de 2000 a 2017 para Petrolina-PE.

Erosividade

Os dados mensais de erosividade referentes à bacia do riacho do Pontal, em Petrolina, estão expostos na Tabela 2. A erosividade média anual para estação é de 2704.5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e os maiores valores médios anuais extremos foram de 5317.59 e 4902.82 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ para os anos de 2009 e 2008, respectivamente. Ainda na Tabela 2, observa-se o desvio padrão de

312.85 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e um coeficiente de variação de 17%, tal valor de erosividade caracteriza o parâmetro R da Equação Universal de perda de Solo (EUPS), que de acordo com a classificação proposta por Carvalho (2008) é considerada como moderada. A variabilidade da média mensal do EI30 é caracterizada pela ocorrência da sazonalidade da precipitação.

Tabela 2. Erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) mensais das chuvas para a estação localizada na bacia do riacho do Pontal para os anos de 2005 a 2013 e seus respectivos resumos estatísticos.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2005	847.67	847.35	487.2	64.37	90.56	10.63	0	0	0	0	1286.46	0	3634.24
2006	0	1088.17	18.63	803.87	223.97	0	0	0	0	503.63	111.01	0	2749.28
2007	0	4034.92	0	631.64	0	0	0	0	0	0	0	0	4666.56
2008	183.17	547.97	2112.3	1270.97	68.01	0	0	0	0	0	0	720.4	4902.82
2009	1421.04	1485.44	982.61	1147.52	28.75	0	0	0	0	51.73	0	200.5	5317.59
2010	22.93	0	528.45	203.92	0	0	0	0	0	80.08	0	36.6	871.98
2011	0	329.04	0	1494.13	0	-	-	-	-	-	-	-	1823.17
2012	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	45.83	0	78.26	107.58	0	0	0	0	0	0	143.11	0	374.78
MÉDIA	2520.64	8332.89	4207.45	5724	411.29	10.63	0	0	0	635.44	1540.58	957.5	2704.491
DP	531.83	1315.74	730.71	556.97	78.08	3.76	0.00	0.00	0.00	174.13	445.79	252.39	312.85
CV (%)	0.21	0.16	0.17	0.10	0.19	0.35	0.00	0.00	0.00	0.27	0.29	0.26	0.17
Máx	1421.04	4034.92	2112.3	1494.13	223.97	10.63	0	0	0	503.63	1286.46	720.4	983.96
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

O ano de 2005 apresentou meses com ausência de chuvas acima dos 10 mm. Nos meses de janeiro a junho e novembro, a erosividade foi classificada como fraca, a mesma erosividade foi encontrada para o ano de 2006. Verifica-se no ano de 2007 que o mês de fevereiro foi classificado como erosividade moderada, seguido por erosividade fraca no mês de abril e os meses seguintes com ausência de precipitação. De 2008 a 2011, a erosividade foi classificada como fraca. O ano de 2013 foi marcado pela presença de erosividade fraca.

Ainda na Tabela 2, observa-se que os meses de junho a setembro são marcados pela ausência de precipitação, representando uma uniformidade dos dados e a presença do período seco assim como visto anteriormente na Figura 3. Estes valores resultam em uma elevada vulnerabilidade aos riscos da variabilidade climática e a possível aridização e, subsequente desertificação devido às mudanças do clima.

O fator R da erosividade encontrado no presente estudo de $2704.491 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ apresentou um valor abaixo ao encontrado por Dias e Silva (2003) para a localidade de Fortaleza, Ceará que foi de $6.774 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$. Em estudo elaborado na região agreste do estado de Pernambuco, para Caruaru, Albuquerque et al. (1994), encontraram valores do índice de erosividade próximo a $2.100 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$, enquanto que em estudo elaborado por Silva et al. (1985) para a região agreste e Sertão pernambucano, mostraram que os valores de

erosividade ficam em torno de 2.780 e de 3.700 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ respectivamente.

O aumento dos valores encontrados neste respectivo trabalho quando comparado com outras literaturas evidencia o acréscimo da lâmina precipitada, das altas intensidades e dos longos períodos de seca. Em comparação com dados encontrados para a região Sul e Sudeste do Brasil, em estudos realizados por Rufino et al. (1993), os valores de R são superiores a $10.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ em que este elevado valor ocorre devido principalmente a diferentes fenômenos meteorológicos que ocorrem nesta região.

Os valores do fator de erosividade encontrados neste estudo que foi em sua maioria de moderada, são os mesmos encontrados em estudo realizado para a região semiárida do Nordeste como encontrado por Lopes e Brito (1993) para a mesma localidade e Albuquerque et al. (2001) para Sumé, PB como erosividade moderada.

Estes valores de erosividade, de modo geral, aumentam com a precipitação, justificado por serem os meses com maior atuação dos vários sistemas atmosféricos causadores de chuvas na área em questão. Ferreira e Mello (2005) afirma que a Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), é o fator de maior importância na determinação da abundância ou deficiência das chuvas no Nordeste brasileiro, já que este evento migra sazonalmente de sua posição mais ao norte para posições mais ao sul, entre fevereiro a abril. O aumento precipitado no mês de janeiro pode ser também causado pelas frentes frias, principalmente entre os meses de novembro a dezembro (Ferreira e Mello, 2005).

Padrão hidrológico

São apresentadas, na Figura 8, as frequências das chuvas erosivas classificadas nos três padrões de distribuição temporal e a frequência de chuvas que ocorrem em dois ou nos três padrões de distribuição. Para a bacia do riacho do Pontal, observa-se a presença de 98 chuvas erosivas

distribuídas em 41 de perfil avançado, 43 intermediários e 14 de perfil atrasado. O perfil hidrológico mais ocorrente é o intermediário, assim para estas áreas, este solo está mais susceptível ao arraste, deposição e ao escoamento superficial, por apresentar um solo mais úmido, favorecendo a erosão hídrica.

Figura 8. Frequências dos padrões hidrológicos em Petrolina-PE, para o período de 2005 a 2013.

O perfil avançado, segundo de maior ocorrência, significa que as chuvas concentradas neste padrão tendem a gerar menores perdas de solo pelo fato de que, no momento do pico da chuva, o solo estaria menos úmido quando comparado aos outros padrões, desta forma, a desagregação, o selamento e o transporte de solo seriam menores. A caracterização dos padrões hidrológicos encontrados neste estudo, difere do encontrado por Cassol et al. (2008), para São Borja, RS, em que o padrão avançado teve maior proporção em todos os meses do ano.

Em relação ao padrão intermediário encontrado no presente estudo, Eltz et al. (2001) observaram maior processo erosivo em chuvas do padrão atrasado e intermediário, que não diferenciam entre si, o que é explicado pela alteração da superfície e o conteúdo de água do solo no decorrer da chuva. Com esta maior proporção do perfil intermediário, pode-se inferir que perdas de solo no município de Petrolina-PE, são maiores do que poderiam ser, conforme observado por Mehl et al. (2001).

Esta região apresenta um maior índice de sofrer eventos catastróficos associados aos extremos climáticos, como resultado dos elevados índices de precipitação que tem ocorrido em um curto espaço de tempo e em poucos dias durante o período chuvoso, tornando-se cada vez mais comum o surgimento da erosão hídrica e consequentemente, causar transtornos diversos para a cidade de Petrolina.

Considerações finais

Apesar da série de dados apontar um incremento da precipitação total anual no período, não se pode afirmar que as chuvas aumentaram na área de estudo no período 2000 a 2017, pois o período analisado é inferior a 30 anos, não representando o clima da região.

Constatou-se grande irregularidade da precipitação, com os maiores valores concentrados entre os meses de janeiro e abril, com elevado potencial erosivo resultando em transtornos diversos para o município.

A média anual de $2704.491 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ classificada como erosividade moderada requer devida atenção a fim de evitar os impactos de perda de solo, e consequentemente danos elevados ocasionada pela classificação das chuvas erosivas em moderada forte ou muito forte.

O padrão hidrológico de maior frequência no município de Petrolina é o intermediário, seguido de avançado e atrasado, elevando as chances de impactos na região, resultando em danos na agricultura, problemas ambientais e doenças de veiculação hídrica.

Diante deste resultado é oportuno análises das precipitações futuras por indicar uma tendência nos padrões de precipitação no sertão Pernambucano e introduzir uma discussão a respeito das modificações climáticas no Nordeste brasileiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Pernambucana de Água e Clima (APAc) pela disponibilidade dos dados de precipitação. À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) por meio do Projeto de Pesquisa APQ-0300- 5.03/17, e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por intermédio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do edital MCTI/CNPq/ANA n.23/2015.

Referências

- Albuquerque, A.W., Chaves, I.B., Vasques Filho, J., 1994. Distribuição e relações com a precipitação pluviométrica de Caruaru-PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola* 14, 83-90.
- Albuquerque, A.W., Lombardi Neto, F., Srinivasan, V.S., 2001. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvisolo em Sumé (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25, 121-128.
- Azevedo, P.V., Silva, B.B., Silva, V.P.R., 2003. Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil. *Agricultural Water Management* 58, 241-254.
- Barbosa, V.V., Souza, W.M., Galvêncio, J.D., Costa, V.S.O., 2016. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco—Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 353-367.
- Cabeda, M.S.V., 1976. Computation of Storm EI Values. Purdue University, West Lafayette.
- Carvalho, M.P., 1987. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa - SP. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, USP.
- Carvalho, M.P., Lombardi Neto, F., Vasques Filho, J., Caetano, A., 1989. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI IND. 30'. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 13, 243-249.
- Carvalho, N.O., 2008. Hidrossedimentologia Prática. 2. ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Cassol, E.A., Eltz, F.L.F., Martins, D., Lemos, A.M.D., Lima, V.S.D., Bueno, A.C., 2008. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 1239-1251.
- Cunha e Silva, D.C., Albuquerque Filho, J.L., Lourenço, R. W. 2016. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física* 09, 627-642. DOI:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.2.p627-642>
- Dias, A.S., Silva, J.R.C., 2003. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1a. Aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27, 335-345.
- Eltz, F.L.F., Mehl, H.U., Reichert, J.M., 2001. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. *Revista Brasileira de Ciência Solo* 25, 485-493.
- Emídio, Z.P.D.O., Landim, P.M.B., 2008. Análise de superfície de tendência aplicada à chuva, medida por radar meteorológico, nas regiões de Assis e Piracicaba, SP. *Geociências* 27, 439-449.
- Ferreira, A.G., Mello, N.G.S., 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia* 1, 15-28.
- Ferreira, P.S., Gomes, V.P., Galvêncio, J.D., Santos, A.M., Souza, W.M., 2017. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia* 21, 113-134.
- Flato, M., Muttarak, R., Pelser, A., 2017. Women, weather, and woes: the triangular dynamics of female-headed households, economic vulnerability, and climate variability in South Africa. *World Development* 90, 41–62.
- Foster, G.R., Mc Cool, D.K., Renard, K.G., Moldenhauer, W.C., 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil Water Conservation* 36, 355-359.
- Francisco, P.R.M., Medeiros, R.M., Matos, R.M., Bandeira, M.M., Santos, D. 2015. Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 08, 1093-1108. DOI:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.4.p1093-1108>
- Hoomehr, S., Schwartz, J.S., Yoder, D.C., 2016. Potential changes in rainfall erosivity under GCM climate change scenarios for the southern Appalachian region, USA. *Catena* 136, 141-151.
- Horner, W.W., Jeans, S.W., 1942. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. *Transactions of*

- the American Society of Civil Engineers 107, 1039-1117.
- Lee, J-H., Heo, J-H., 2011. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology* 409, 30-48.
- Lira, D.R.D., 2014. Evolução geomorfológica e paleoambiental das bacias do riacho do Pontal e GI-8 no Sub-Médio São Francisco. Tese (Doutorado). Recife, UFPE.
- Lopes, P.R.C., Brito, L.T.L., 1993. Erosividade da chuva no médio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 17, 129-133.
- Marengo, J.A., Cunha, A.P. Alves, L.M., 2016. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Revista Climanalise* 3, 49-54.
- Mehl, H.U., Eltz, F.L.F., Reichert, J.M., Didoné, I.A., 2001. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25, 475-483.
- Nóbrega, R.S., Ayane, G., Santiago, C.F., 2016. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande* 63, 9-26.
- Oliveira, P.T.S., Alves Sobrinho, T., Rodrigues, D.B.B., Panachuki, E., 2011. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. *Water Resources Management* 25, 1021-1036.
- Ramos, C.M.C., Silva, A.F., Sartori, A.A.C., Zimback, C.R.L., Bassoi, L.H., 2011. Modelagem da variação horária da temperatura do ar em Petrolina, PE, e Botucatu, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15, 959-965.
- Rodrigues, L.O., Souza, W.M., Costa, V.S.O., Pereira, M.L.T., 2018. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 1995-2009.
- Rufino, R.L., Biscaia, R.C.M., Merten, G.H., 1993. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 17, 439-444.
- Salvador, M.A., 2014. Análise da variabilidade climática na nova fronteira agrícola do Brasil: região do Matopiba. Tese (Doutorado). Campina Grande, UFCG.
- Santos, C.A.C., Ramos, A.R.D., 2018. Avaliação dos eventos extremos de precipitação no estado do Piauí. *Agrometeoros* 25, 47-57.
- Santos, J.A., 2007. Análise dos riscos ambientais relacionados às enchentes e deslizamentos na favela São José. João Pessoa – PB. Dissertação (Mestrado). João Pessoa, UFPB.
- Silva, M. R. , Moura, F. P. Jardim, C.H. 2017. O diagrama de caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 023-040. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170003>
- Silva, E.R.A.C., Galvincto, J.D., Nascimento, K.R.P., Santana, S.H.C., Souza, W.M., Costa, V.S.O., 2018. Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Climatologia* 22, 76-98.
- Silva, I.F., Andrade, A.P., Campos Filho, O.R., Souza, V.F., 1985. Erosividade das chuvas das zonas fisiográficas Agreste e Sertão de Pernambuco. *Agropecuária Técnica* 6, 26-37.
- Silva, R.O.B., Montenegro, S.M.G.L., Souza, W.M., 2017. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 579-589.
- Silva, W.L., Dereczynski, C., Chang, M., Freitas, M., Machado, B.J., Tristão, L., Ruggeri, J., 2015. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia* 30, 181-194.
- Souza, W.M., Azevedo, P.V., Araújo, L.E., 2012. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife- PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 2, 250-268.
- Trindade, A.L.F., Oliveira, P.T.S., Anache, J.A.A., Wendland, E., 2017. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51, 1918-1928.
- Uvo, C.R.B., Nobre, C.A., 1989. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no Norte do Nordeste do Brasil. Parte I: a posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. *Climanalise* 4, 34-40.
- Valverde, M.C., Cardoso, A.O., Brambila, R., 2018. O padrão de chuvas na região do ABC Paulista: os extremos e seus impactos. *Revista Brasileira de Climatologia* 22, 165-187.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington. (Agriculture Handbook, 537).
- Xavier, D.R., Barcellos, C., Freitas, C.M., 2014. Eventos climáticos extremos e consequências sobre a saúde: o desastre de 2008 em Santa Catarina segundo diferentes fontes de informação. *Ambiente & Sociedade* 17, 273-294.