

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO E DA EROSIDADE DAS CHUVAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO, NORDESTE DO BRASIL

* Tássio Jordan Rodrigues Dantas da Silva¹
José Ludemario da Silva Medeiros¹
Maxsuel Bezerra do Nascimento¹
Janaína Aparecida Cezario¹
Daniele de Almeida Carreiro²
Laércio Leal dos Santos¹
William de Paiva¹

STATISTICAL ANALYSIS OF RAIN PRECIPITATION AND EROSIVITY IN THE PARAIBANO SEMIARID, NORTHEAST OF BRAZIL

Recibido el 22 de julio de 2021. Aceptado el 8 de noviembre de 2021

Abstract

Soil erosion by water is a serious threat to many regions around the world. The impacts caused by this phenomenon are complex and, in some cases, imperceptible, slowly changing the geomorphology over the years. Despite being a natural process, erosion is intensified by anthropic action, and rainfall erosivity is one of the main factors for soil degradation in semiarid environments. In Brazil, research at local scales is still timid and limited, which makes it difficult for researchers to effectively analyze soil loss across the country. The objective of the work was analyzed using descriptive statistics and rainfall erosivity in the semiarid region of Paraíba State, northeastern Brazil. The study area corresponds to the Paraíba portion of the Piancó-Piranhas-Açu River basin (BHRPPA-PB). The homogeneity of time series data from 28 rainfall stations from 1962 to 2020 (59 years of data) was analyzed and verified, the erosivity was calculated using the rainfall erosivity index (EI_{30}), and a descriptive statistic of the Erosion and erosivity data. From the results it was possible to observe that the average rainfall erosivity value that represents the R Factor of the USLE is $3275 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ being evaluated as moderate, and the period from January to May is the more conducive to the action of the erosivity of rains.

Keywords: brazilian semiarid region, rain intensity, r-factor, soil erosion, USLE.

¹ Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Brasil.

² Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.

*Autor correspondente: Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campus Universitário, s/n, Bodocongó, Campina Grande/PB, CEP: 58109-790, Brasil. Email: tassiojordan@hotmail.com

Resumo

A erosão do solo pela água é uma ameaça séria para diversas regiões em todo o mundo. Os impactos provocados por este fenômeno são complexos e em alguns casos imperceptíveis, alterando lentamente a geomorfologia com o passar dos anos. Apesar de ser um processo natural, a erosão é intensificada pela ação antrópica, sendo a erosividade da chuva um dos principais fatores para degradação dos solos em ambientes semiáridos. No Brasil, as pesquisas em escalas locais ainda são tímidas e limitadas o que dificulta uma análise eficaz, por parte dos pesquisadores, da perda de solo em todo o país. O objetivo deste trabalho foi analisar por meio da estatística descritiva a precipitação e a erosividade das chuvas no semiárido do Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. A área de estudo corresponde a porção paraibana da bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA-PB). Foram analisadas e verificada a homogeneidade dos dados das séries temporais de 28 postos pluviométricos do período de 1962 a 2020 (59 anos de dados), calculada a erosividade através do Índice de erosividade das chuvas (EI_{30}), e realizada a estatística descritiva dos dados de precipitação e erosividade. A partir dos resultados foi possível concluir que o valor médio da erosividade da chuva que representa o Fator R da USLE é de $3275 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ sendo classificado como moderado, e o período de janeiro a maio é o mais propício a ação erosiva das chuvas.

Palavras chave: semiárido brasileiro, intensidade de chuva, fator r, erosão do solo, USLE.

Introdução

Entre os fenômenos atmosféricos, a precipitação pluviométrica é um dos que se apresentam com maior relevância, visto que profusos setores socioambientais, econômicos e culturais mantêm um elevado grau de dependência com essa variável climatológica (Silva *et al.*, 2017; Lukić *et al.*, 2019). A quantidade, intensidade e a variabilidade das chuvas no tempo e espaço são algumas das características que intervêm diretamente na sociedade e nos recursos naturais, em especial, os recursos hídricos. Nas regiões áridas e semiáridas a dependência à dinâmica das chuvas é ainda maior, uma vez que, a biodiversidade, o agronegócio e o abastecimento público ficam à mercê desse fenômeno climático que influencia diretamente no desenvolvimento local (Lukić *et al.*, 2019).

A elevada concentração de chuvas em um curto período provoca o surgimento de processos erosivos que, por sua vez ocasionam o empobrecimento do solo por meio da lavagem da camada superficial, transportando nutrientes, sedimentos, herbicidas e fertilizantes para planícies, lençóis freáticos ou corpos hídricos superficiais, o que provoca a contaminação das águas. O assoreamento dos corpos hídricos é outro problema ocasionado pela erosão do solo, aumentando o risco de enchentes e interferindo na qualidade da água devido ao material lixiviado (Nearing *et al.*, 2017; Borrelli *et al.*, 2020).

A erosividade da chuva, também conhecida como o Fator R de entrada na Equação Universal de Perda do Solo (USLE), é considerado um dos principais fatores desta equação, especialmente, na atualidade em que as mudanças climáticas estão cada vez mais relacionadas ao desequilíbrio dos ecossistemas ambientais e a sua degradação (Lee e Lin, 2015; Back e Poletto, 2018; Furtado, 2019).

Na literatura, pesquisas clássicas destacam o índice EI_{30} com ótima correlação com as perdas de solo, em escala experimental, a exemplo dos estudos de Lombardi Neto e Modenhauer (1992), e Cantalice e Margolis (1993). No Brasil, este tipo de método é bastante empregado, devido sua praticidade, insuficiência de estações pluviográficas e por apresentar resultados satisfatórios, a exemplo do estudo de Trindade *et al.* (2016), que estimou a variabilidade erosiva para o território brasileiro com base em 1521 estações pluviométricas, com séries acima de 20 anos, e 75 equações de regressão que relacionaram a precipitação com o índice de erosividade EI_{30} .

Reddy *et al.* (2017) ressaltam a adoção da bacia hidrográfica como unidade ideal para análises ambientais, uma vez que este recorte apresenta condições climáticas, hidrológicas e geomorfológicas mais similares no que tange aos estudos do ciclo hidrológico como as mudanças climáticas e a erosividade. Neste contexto, evidencia-se os trabalhos de Bagwan (2020) na bacia do rio Urmodi de Maharashtra, na Índia, e o trabalho de Guesri *et al.* (2020) na bacia hidrográfica de K'sob, Nordeste da Argélia. No Brasil, destacam-se os estudos de Duarte e Silva Filho (2019) na bacia hidrográfica do rio Juma no Estado do Amazonas, e os de Terassi *et al.* (2019) na bacia hidrográfica do rio Alto do Iguaçu, Estado do Paraná.

No semiárido brasileiro, são poucos os trabalhos que empregam a bacia hidrográfica como unidade de estudo para cálculos de erosividade, com algumas exceções, a exemplo dos manuscritos de França *et al.* (2020) na bacia do rio Ipojuca no Estado de Pernambuco, e de Silva *et al.* (2020) na bacia do rio Apodi/Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte. Vale destacar, também, a pesquisa de Almeida *et al.* (2017) que utilizaram séries mensais de 210 postos pluviométricos, a partir de 15 anos de dados históricos, englobando parte da região do semiárido do Brasil, e obtiveram uma variação do EI_{30} de 1439 a 5864 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Nessa conjuntura, fica evidente a necessidade de estudos sobre a distribuição da erosividade nas demais localidades do semiárido brasileiro, especialmente, em bacias hidrográficas. Sobretudo, que contemplem séries históricas mais amplas, apresentem resultados mais coesos e auxiliem no planejamento ambiental e na conservação dos solos do semiárido. Este estudo teve como objetivo analisar por meio da estatística descritiva a precipitação e a erosividade das chuvas no semiárido paraibano, Nordeste do Brasil.

Materiais e métodos

Área de estudo

A área de estudo corresponde a porção paraibana da bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA-PB), localizada na região semiárida do Nordeste brasileiro (NEB) entre as coordenadas geográficas 05°46'54" e 07°55'16" de latitude Sul e 38°35'42" e 36°15'10" de longitude Oeste (Figura 1). Seu território abrange 102 municípios no Estado da Paraíba, com uma população de

897162 habitantes e totalizando uma área de 25948 km², entre as principais cidades destacam-se: Patos, Sousa, Cajazeiras, São Bento, Pombal e Catolé do Rocha, todas pertencentes ao Estado da Paraíba (CBHPPA, 2018).

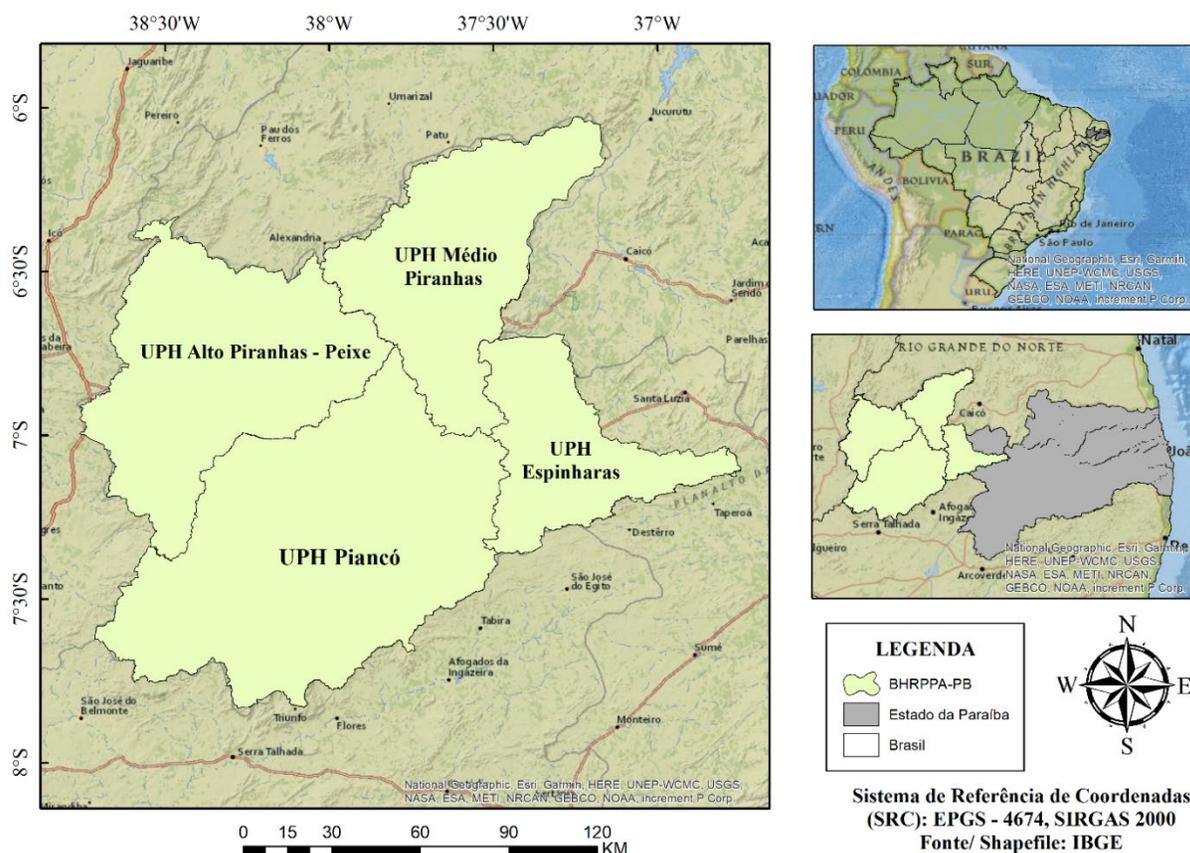


Figura 1. Localização da porção paraibana da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA-PB).

A BHRPPA-PB engloba as sub bacias hidrográficas do rio Piancó, rio do Peixe, Alto e Médio Piranhas e a do rio Espinharas (CBHPPA, 2018). O relevo corresponde à Depressão Sertaneja, com a presença do Planalto da Borborema na porção sudeste da bacia, e ocorrência de serras e maciços rochosos, os solos predominantes são o Luvissole Crômico, o Neossolo Litólico, Argissolo Vermelho-amarelo e coberturas sedimentares representadas por aluviões (ANA, 2016; CBHPPA, 2018). A geologia é formada pelo predomínio do embasamento cristalino, com a presença de rochas ígneas e metamórficas, a exemplo os xistos e granitos, há existência de rochas sedimentares, especialmente, na sub bacia do rio do Peixe e depósitos quaternários distribuídos ao longo de toda a bacia hidrográfica (ANA, 2016).

O clima é o semiárido do tipo BSh seco e quente, de acordo com a classificação de Köppen, o período chuvoso é curto e irregular, com chuvas que alteram do verão ao outono, decorrentes da atuação das zonas de convergência intertropical (ZCIT), as temperaturas médias variam de 24°C a 28°C, com umidade relativa do ar inferior a 75% (De Araújo *et al.*, 2017). A cobertura vegetal é espaçada com árvores de pequeno a médio porte, com a presença de arbustos, cactáceas e trechos de florestas caducifólias, típica da caatinga xerófila e bastante presente no sertão nordestino (Fernandes e Queiroz, 2018).

Base de dados

Os dados pluviométricos foram obtidos em bancos de dados digitais da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Empregou-se, como critério de seleção, a utilização de séries históricas superiores a 30 anos e com falhas inferiores a 5% dos dados, totalizando 59 anos de séries temporais de 28 postos pluviométricos do período de 1962 a 2020.

Inicialmente, foi realizada uma análise minuciosa a fim de identificar erros grosseiros (outliers) no banco de dados, para isso utilizou-se o box-plot. Em sequência, foi feito o preenchimento de falhas nas séries históricas por meio do método da ponderação regional, escolhendo os três postos pluviométricos mais próximos ao corrigido e situados em locais com características geográficas semelhantes. Este método é descrito por Bertoni e Tucci (2007), por meio da Equação 1:

$$P_y = \frac{1}{3} \left(\frac{P_{My}}{P_{Mx1}} P_{x1} + \frac{P_{My}}{P_{Mx2}} P_{x2} + \frac{P_{My}}{P_{Mx3}} P_{x3} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Em que,

P_y = Precipitação do posto a corrigir,

P_{My} = Precipitação média do posto Y ,

P_{x1} a P_{x3} = Precipitação dos postos $x1$ a $x3$,

P_{Mx1} a P_{Mx3} = Precipitação média dos postos $x1$ a $x3$.

A fim de identificar possíveis mudanças no comportamento da precipitação ao longo do tempo, foi introduzida uma análise de consistência dos dados por meio do método da Curva dupla-massa (ou duplo-acumulativa). Para melhores resultados, esta análise foi categorizada em grupos ou Unidades de Planejamento Hidrológico (UPHs), conforme classificação da ANA (2016). A referida classificação leva em consideração características geo-hidrológicas, assim, auxiliando na subdivisão da área de estudo.

Cálculo da erosividade

Para o cálculo da estimativa da erosividade foi utilizada a Equação 2 proposta por Cantalice *et al.* (2009), para as condições da região semiárida do Brasil em função do índice de Fournier modificado (MFI), e descrita por:

$$EI_{30} = 95,48 \left(\frac{Pi^2}{Pa} \right)^{0,56}$$

Equação (2)

Em que,

EI_{30} = Índice de erosividade das chuvas médio mensal ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ mês^{-1}$),

Pi = Precipitação pluvial (mm) histórica para o mês i,

Pa = Precipitação pluvial (mm) histórica anual.

O valor de erosão anual é estimado pela soma dos valores mensais de cada posto de análise, assim, este resultado representa o “Fator R” da USLE, proposta por Wischmeier e Smith (1978), e pode ser utilizado em futuras pesquisas como índice de erosividade para o território da BHRPPA-PB. O EI_{30} anual foi classificado de acordo com Carvalho (2008) e representado na Tabela 1. Em seguida, foi realizada a estatística descritiva dos dados de precipitação e erosividade por meio da média, valor máximo e mínimo, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), assimetria e curtose dos 28 postos pluviométricos, para as séries históricas mensais e total anual de 1962 a 2020.

Tabla 1. Classes para interpretação do índice de erosividade anual.

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

Fonte: Carvalho (2008).

Resultados e discussão

Análise de consistência dos dados

A Figura 2 apresenta as curvas de duplas massas resultantes para os quatro grupos (UPHs) previamente definidos. As curvas obtidas da relação entre os acumulados das estações pluviométricas com o acumulado da média regional para cada UPH não apresentaram irregularidades, ou seja, todos os postos pluviométricos das quatro UPHs em estudo apresentaram homogeneidade regional.

A homogeneidade dos dados foi confirmada pelos resultados da correlação entre a média do acumulado regional e o acumulado para cada estação pluviométrica, pois os coeficientes de determinação (R^2) foram todos superiores a 0.992 e em sua grande maioria alcançaram 0.999. Vale enfatizar que, as séries pluviométricas não sofreram um preenchimento de falhas maiores que 5% dos dados mensais, houve uma tendência pela dispersão linear dos dados, uma vez que as curvas de dupla massa não apresentaram grandes distorções de declividade em relação à acumulada da média regional.

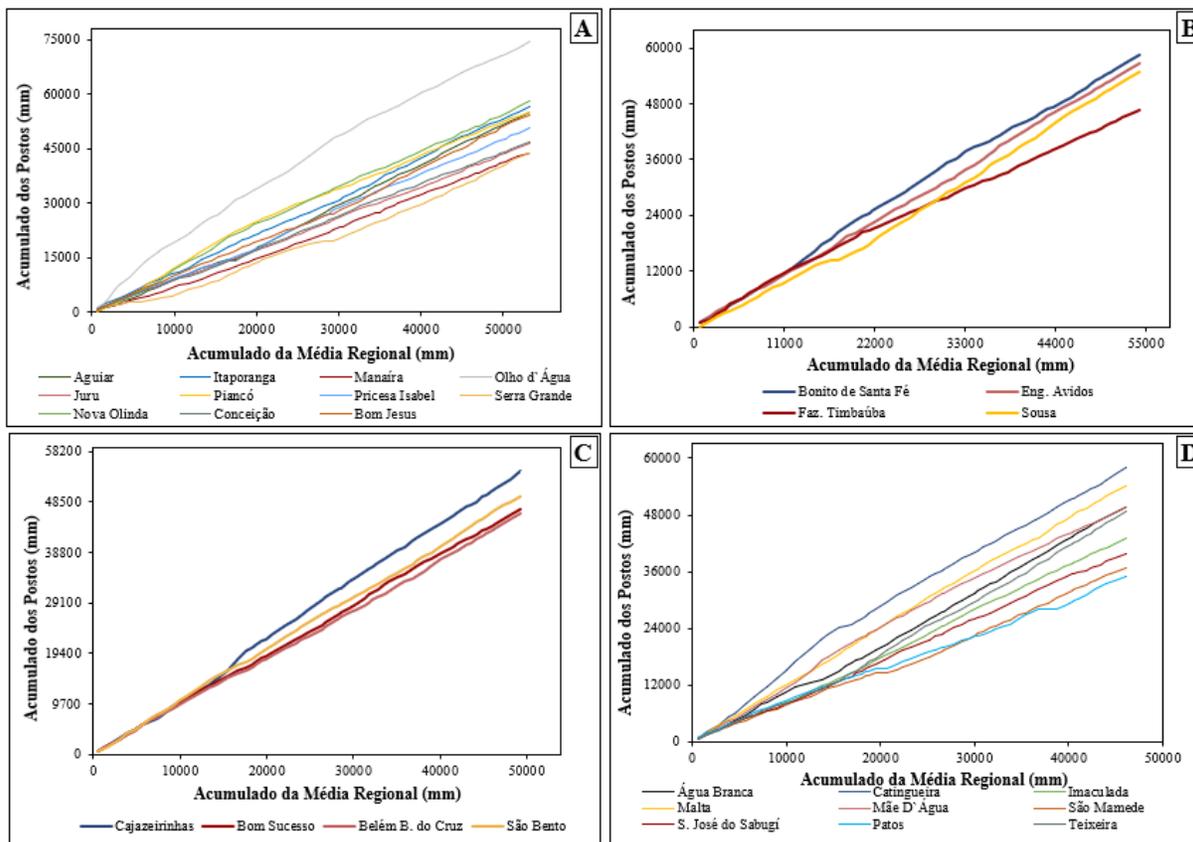


Figura 2. Curvas de dupla massa dos postos pluviométricos das UPHs Piancó (A), Alto Piranhas-Peixe (B), Médio Piranhas (C) e Espinharas (D).

Mello e Oliveira (2016) destacam a importância da análise de consistência de dados pluviométricos, visto que, as séries temporais podem, muitas vezes, não serem homogêneas e por isso é fundamental a aplicação de métodos estatísticos para que não haja erros na utilização futura destes dados. Portanto, após coleta, tabulação, preenchimento de falhas e análise de consistência das séries históricas, foi possível alcançar um banco de dados íntegro de todos os 28 postos pluviométricos para a área da BHPPA-PB (1962-2020), o que pode ser comprovado pela baixa dispersão entre os dados. Nesse contexto, diversos trabalhos utilizaram testes estatísticos para análise de consistência dos dados de chuva, a citar Trindade *et al.* (2016), Mello e Oliveira (2016), Silva *et al.* (2017), Almeida *et al.* (2017) e Terassi *et al.* (2019).

Estatística descritiva da precipitação

Os maiores valores de precipitação foram observados no período de janeiro a abril, sendo o mês de março o mais chuvoso com média de 206.2 mm, e o período de julho a novembro o menos chuvoso com médias de no máximo 22.1 mm (Tabela 2). Este último período representa a estação seca no semiárido paraibano com raros eventos de precipitação (DA SILVA *et al.*, 2020).

Tabla 2. Estatística descritiva da precipitação pluviométrica anual do período de 1962 a 2020 na BHRPPA-PB.

Mês	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	Coefficiente de variação (%)	Assimetria	Curtose
	----- (mm) -----						
Janeiro	9.7	428.5	102.9	74.7	73	2.120	6.168
Fevereiro	21.0	349.7	140.8	75.2	53	0.518	-0.371
Março	52.2	463.3	206.2	86.4	42	0.437	0.299
Abril	35.2	414.0	176.5	102.0	58	0.726	-0.393
Mai	2.7	217.3	83.0	54.2	65	0.471	-0.516
Junho	3.0	122.2	36.4	27.5	75	1.094	0.841
Julho	0	76.2	22.1	17.3	78	1.225	1.351
Agosto	0	47.0	7.1	8.6	121	2.814	9.178
Setembro	0	32.5	4.9	6.7	138	2.198	4.965
Outubro	0	90.5	9.4	15.3	162	3.359	14.009
Novembro	0	108.0	16.1	20.0	124	2.312	6.933
Dezembro	0.1	149.8	37.7	35.3	94	1.413	1.719
Ano	291.8	1615.8	843.0	282.8	34	0.528	0.352

O maior desvio-padrão dos dados foi verificado para o mês de abril e o menor para setembro, que também representa o mês com maior déficit hídrico da área em estudo com média de 4.9 mm. Assim, os elevados valores do coeficiente de variação indicam significativa dispersão entre os dados, isto é, grande variabilidade da precipitação na BHRPPA-PB, principalmente entre os meses de agosto e novembro quando o desvio-padrão é maior que a média, devido esse período apresentar médias mensais próximas a zero (período da estiagem) corroborando com os estudos de De Souza *et al.* (2017), Silva *et al.* (2017), e Da Silva *et al.* (2020). Segundo De Almeida e Medeiros (2017), essa alta variabilidade no semiárido paraibano acontece devido as diversas interferências atmosféricas que atingem essa região como os fenômenos *El Niño* e *La Niña*.

Todos os meses apresentaram assimetria positiva, sendo que, de fevereiro a maio, a distribuição é próxima da normal, pois variáveis com medidas de assimetria próximas a 0.5 tendem a ter distribuição normal.

Na Figura 3, observa-se que todas as médias mensais são maiores que as medianas, o que confirma a assimetria positiva dos dados, como também, evidencia a elevada dispersão dos dados, principalmente, no período de janeiro a maio que é caracterizado pelo maior volume de precipitação.

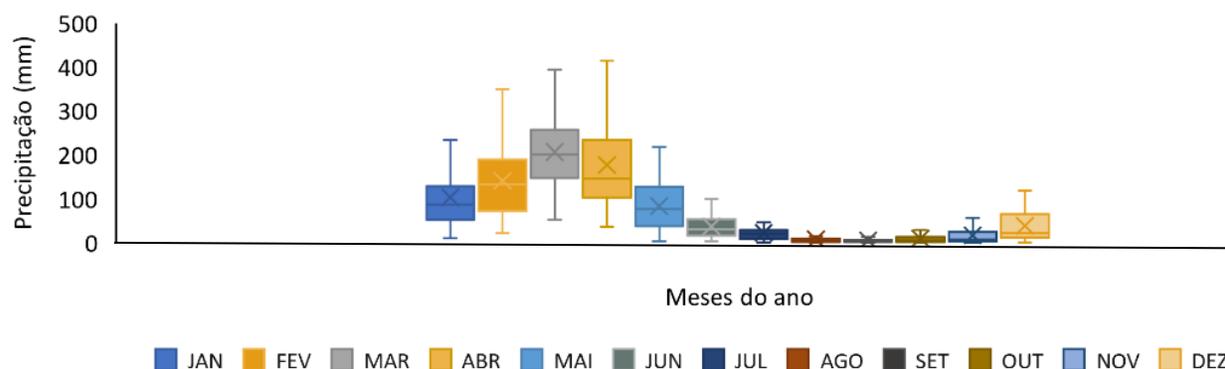


Figura 3. Box-plot da precipitação pluviométrica mensal para a BHRPPA-PB.

No tocante à curtose, somente os resultados de fevereiro, abril e maio apresentaram valores negativos, apontando que nestas datas a distribuição é do tipo platicúrtica, em outras palavras, significa dizer que é bem mais fácil alcançar valores que se distanciem da média, devido nestes meses se concentrar o período chuvoso da região.

Em relação aos valores anuais, a precipitação da BHRPPA-PB teve valor médio, máximo e mínimo de 843 mm, 1616 mm e 292 mm respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Dos Santos *et al.* (2017), para o semiárido brasileiro, por Silva *et al.* (2017), ao analisar a variabilidade das precipitações, no período de 1975 a 2016, para o município de Petrolina no semiárido pernambucano, e por De Souza *et al.* (2017) em cidades do semiárido, pertencentes aos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte.

Na Figura 4, são apresentados os dados de precipitação mensal ao longo do ano para as UPHs do Piancó, Alto-Piranhas-Peixe, Médio Piranhas e Espinharas, como também a média da BHRPPA-PB, onde se confirma que o regime de chuvas mensais das quatro UPHs e da bacia hidrográfica seguem uma mesma tendência.

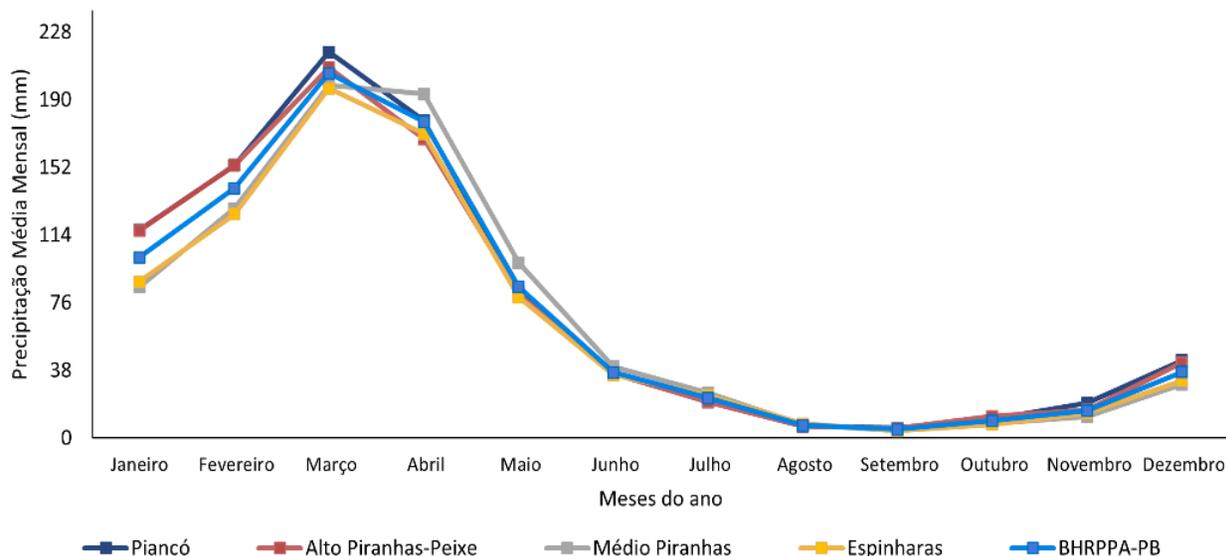


Figura 4. Precipitações médias mensais para as UPHs Piancó, Alto Piranhas-Peixe, Médio Piranhas e Espinharas e BHRPPA-PB.

No período de janeiro a maio existe superioridade de precipitações nas UPHs do Piancó e Alto Piranhas-Peixe, seguido pela média da bacia e com os menores valores no Médio Piranhas e Espinharas. Para o período seco, que compreende de julho a novembro o regime de precipitações segue a mesma tendência para todas as UPHs e conseqüentemente para a BHRPPA-PB, tendo os meses de junho e dezembro com variações no regime das precipitações devido esses meses serem considerados de transição entre as estações seca e chuvosa.

Vale destacar, que o período de janeiro a maio representa grande parte do total anual precipitado na área de estudo, cerca de 80% da pluviometria anual. Do ponto de vista ambiental, Santos *et al.*, (2017) ressaltam que as precipitações pluviométricas são bastante escassas durante as estações do inverno e primavera e se concentram em um curto período para essa região, e geralmente ocorrem na forma de chuvas torrenciais. Essas precipitações são a principal causa das perdas de solo no semiárido brasileiro, provocando danos irreparáveis como a perda da camada fértil do solo e o assoreamento dos corpos hídricos superficiais.

Os problemas ambientais são ainda mais graves quando estas chuvas ocorrem logo no início do período chuvoso e atingem um solo totalmente exposto, sem nenhuma proteção vegetal, onde a ação erosiva da chuva acarretará danos ainda mais significativos, como o surgimento de voçorocas e afloramentos de rocha (Ochoa *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2016).

Estadística descriptiva da erosividade

Na Tabela 3, observa-se a estatística descriptiva da erosividade da chuva para a BHRPPA-PB, da série histórica de 59 anos (1962-2020). São expostos os valores de média, valor máximo e mínimo, CV, desvio-padrão, assimetria e curtose.

Tabela 3. Estatística descriptiva da erosividade da chuva anual do período de 1962 a 2020 na BHRPPA-PB.

Mês	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	Coefficiente de variação (%)	Assimetria	Curtose
	----- (MJ mm ha ⁻¹) -----						
Janeiro	27	1728	410	308	75	2.137	6.047
Fevereiro	116	1309	555	283	51	0.470	-0.236
Março	252	1884	873	345	40	0.588	0.895
Abril	156	1602	691	368	53	0.557	-0.674
Mai	8	828	303	197	65	0.476	-0.175
Junho	6	413	124	96	77	1.089	0.622
Julho	0	230	73	60	82	1.121	0.631
Agosto	0	101	18	19	105	2.176	6.164
Setembro	0	86	14	21	145	2.084	3.917
Outubro	0	192	26	39	150	2.397	6.401
Novembro	0	335	56	72	129	1.925	3.829
Dezembro	0	528	134	133	100	1.374	1.036
Ano	1767	4745	3275	622	19	0.063	0.044

Conforme Vanni (1998), um CV menor que 35% indica homogeneidade da série e que a média é significativa. Com base nesta informação, a média anual da Erosividade encontrada na presente pesquisa, é representativa para a série histórica em estudo, pois o CV anual foi de 19%. Assim, a média anual de 3275 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ da erosividade da chuva com base no índice El₃₀ para a BHRPPA-PB representa com significância o “Fator R” da USLE para a área de estudo. Resultado semelhante foi encontrado por Ribeiro Filho *et al.* (2017) que obteve um CV de 23.35% da erosividade média anual para o Estado do Ceará, que assim como a BHRPPA-PB é inserido quase que totalmente na região semiárida do Brasil. Entretanto, os CVs mensais apresentaram elevada percentagem, o que pode estar relacionado com a grande variabilidade das precipitações mensais, como também, pelos baixos valores de erosividade médiano período seco (agosta a novembro), os quais foram menores que os seus respectivos desvios-padrão.

Os maiores valores de EI_{30} foram obtidos nos meses entre janeiro e abril com 1728, 1309, 1884 e 1602 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Por outro lado, os menores valores foram observados no semestre de julho a dezembro, tendo zero como valor mínimo para todos os meses, o que pode ser atribuído à distribuição das chuvas na região, que se concentram nos primeiros meses do ano (Tabela 3), e praticamente ausentam-se no segundo semestre do ano.

Na Figura 5, nota-se que os valores das médias mensais de erosividade ao longo do ano, comprovam que o segundo semestre compreende os meses com os menores valores de erosividade e menor amplitude dos dados. Deste modo, as características da chuva para o referido semestre não representam grandes riscos a eventuais percas de solo por erosão hídrica. Entretanto, no período de janeiro a maio foram observados os maiores valores, bem como as maiores amplitudes de erosividade. Tal resultado aponta para que as práticas conservacionistas de manejo e uso do solo sejam intensificadas neste período do ano para a região.

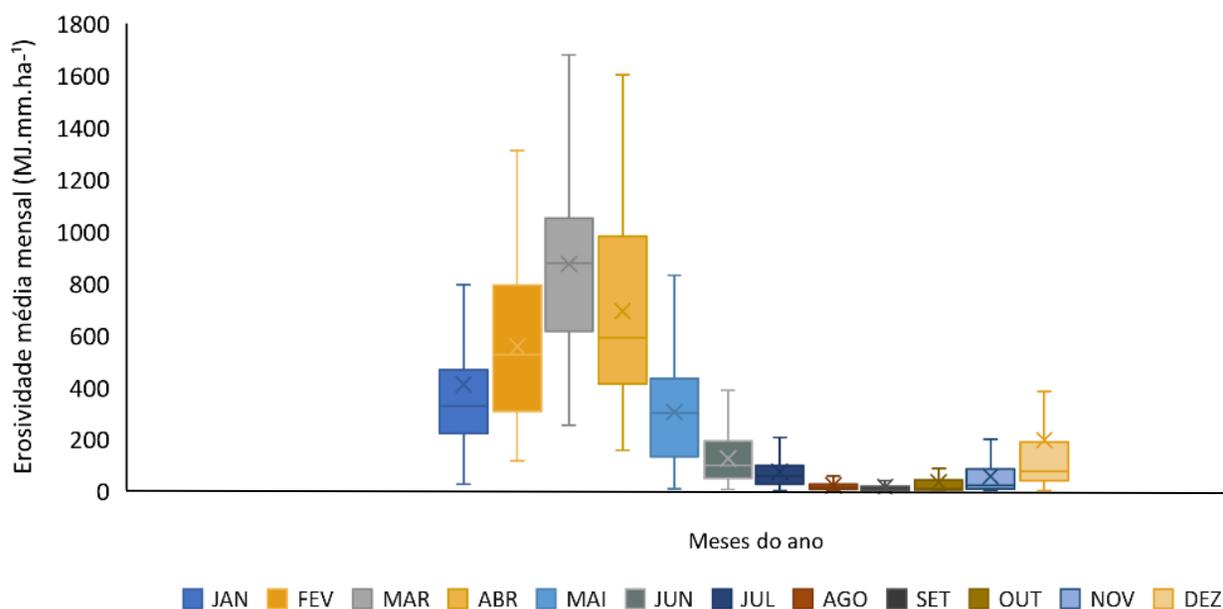


Figura 5. Box-plot do índice de erosividade da chuva mensal para a BHRPPA-PB.

Ao analisar as Figuras 4 e 6, observa-se similaridade entre a distribuição da precipitação e do EI_{30} , que pode ser compreendida pela proximidade entre os valores de assimetria e curtose destas duas variáveis climáticas. Nesse contexto, nota-se na Figura 6, a mesma tendência de distribuição da erosividade entre as quatro UPHs e a BHRPPA-PB.

As UPHs do Piancó, Alto Piranhas-Peixe, Médio Piranhas, Espinharas e a bacia hidrográfica obtiveram uma erosividade anual média, para a série histórica de: 3362, 3305, 3295, 3138 e 3275 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Almeida *et al.* (2017) ao modelarem a dependência espacial e mapearem o EI₃₀ para a região semiárida do Brasil, alcançando uma erosividade média anual de 2988 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ para séries históricas iguais ou superiores a 15 anos. De acordo com a classificação de Carvalho (2008), todas as UPHs assim como a bacia hidrográfica foram classificadas com erosividade moderada quanto ao grau de erosividade. Deste modo, indicando a necessidade da adoção de medidas mitigadoras para todas as regiões da BHRPPA-PB, a fim de combater os possíveis transtornos provocados pela erosão hídrica.

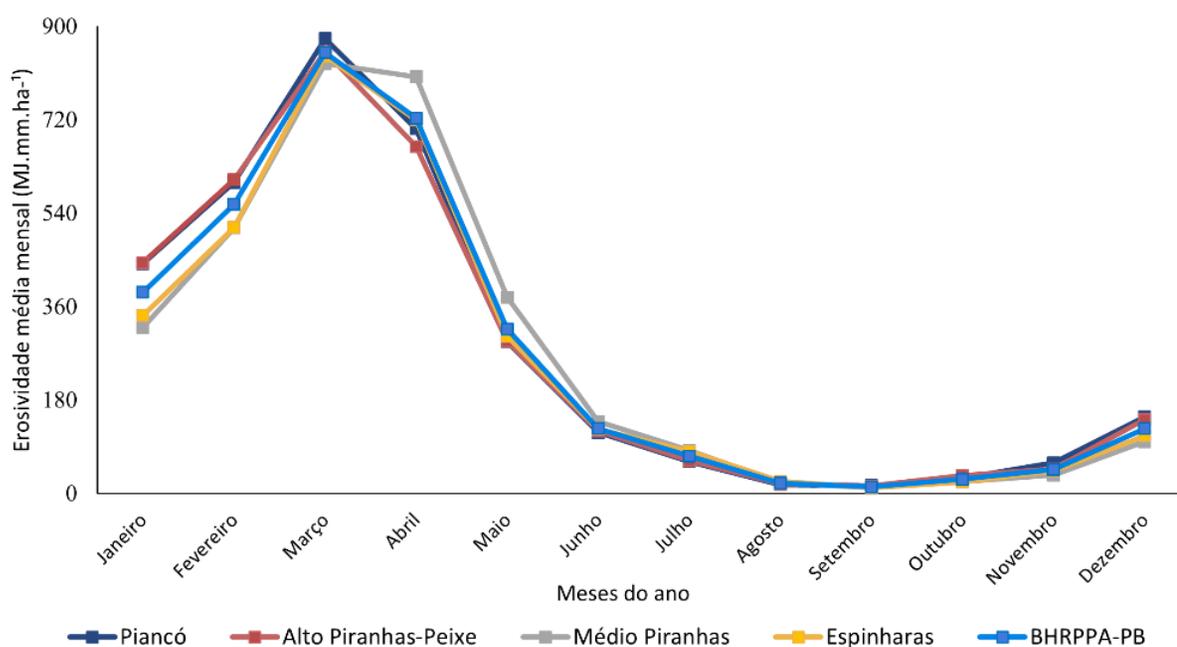


Figura 6. Médias mensais de erosividade para as UPHs Piancó, Alto Piranhas-Peixe, Médio Piranhas e Espinharas, e para a BHRPPA-PB.

Segundo Borrelli *et al.* (2020), a erosão hídrica é um fenômeno de grande relevância não apenas para o setor agropecuário, mas também para a economia e o meio ambiente, uma vez que, sua rapidez e magnitude acarreta significativos danos as características do solo e ao uso dos recursos naturais. Assim, evidencia-se para que governantes, pesquisadores e a sociedade auxiliem no controle deste fenômeno, perante seu poder de degradação na área de estudo.

Conclusões

A homogeneidade dos dados de todos os 28 postos pluviométricos em estudo foi verificada, assim, os resultados alcançados pelo emprego do método de duplas massas para as séries históricas de 59 anos dos totais mensais precipitados foram considerados homogêneos. Portanto, estas podem ser empregadas em estudos das mais diversas áreas do conhecimento, que não irão apresentar erros quanto a homogeneidade dos dados.

O índice de erosividade médio anual que corresponde ao “fator R” da USLE para a área de estudo foi de 3275 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e foi classificado como moderado. E através da estatística descritiva dos dados analisados foi possível observar que o período de janeiro a maio é o mais propício a ação da erosividade das chuvas.

O presente estudo oferece informações úteis para uma melhor compreensão da distribuição anual da precipitação e erosividade no território paraibano da bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu e em suas quatro UPHs, sendo de grande importância para uma efetiva previsão da erosão do solo e também pode apoiar o desenvolvimento de políticas para alcançar o planejamento ambiental regional sustentável e a gestão dos recursos hídricos.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos ao primeiro autor.

Referências bibliográficas

- Almeida, A. Q. D., Souza, R. M. S., Loureiro, D. C., Pereira, D. D. R., Cruz, M. A. S., Vieira, J. S. (2017) Modelagem da dependência espacial do índice de erosividade das chuvas no semiárido brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **52**(6), 371-379.
- ANA, Agência Nacional de Águas. (2016) *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu*. Brasília: ANA.
- Bagwan, W. A. (2020) An assessment of rainfall-induced land degradation condition using Erosivity Density (ED) and heatmap method for Urmodi River watershed of Maharashtra, India. *Journal of Sedimentary Environments*, **5**(1), 279-292.
- Back, A. J., Poletto, C. (2018) Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, **22**(1).
- Bertoni, J. C., Tucci, C. E. M. (2007) Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 177-241.

- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Ballabio, C.(2020) Land use and climate change impacts on global soil erosion by water(2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **117**(36), 21994-22001.
- Cantalice, J. R. B., Margolis, E.(1993) Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **17**, 275-281.
- Cantalice, J.R.B., Bezerra, S.A., Figueira, S.B., Inácio, E. Dos S.B., Silva, M. D. R. O.(2009) Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco - 1ª aproximação. *Revista Caatinga*, **22**, 75-80.
- Carvalho, N. O.(2008) *Hidrossedimentologia prática*. 2.ed. Rio de Janeiro, Interciência, 599p.
- CBHPPA, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó - Piranhas - Açu,(2018). Disponível em: <<http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/site/a-bacia/>>. Acesso em: 05 de dez. 2020.
- Da Silva, R. M., Santos, C. A. G., Da Costa, J. F. C. B., Silva, A. M., Neto, R. M. B.(2020) Spatial distribution and estimation of rainfall trends and erosivity in the Epitácio Pessoa reservoir catchment, Paraíba, Brazil. *Natural Hazards*, **102**(3), 829-849.
- De Almeida, H. A., Medeiros, E. A.(2017) Variabilidade no regime pluvial em duas mesorregiões da Paraíba e sua relação com o fenômeno El Niño Oscilação Sul. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, **2**(3), 177-185.
- De Araújo, I. G. D., Diniz, M. T. M., Dantas, F. L., E Da Silva, F. E. B.(2017) Climatologia do Sertão da Paraíba, Brasil. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, **1**(2), 2439-2448.
- De Souza, C. L. O., Nogueira, V. F. B., Da Silva Nogueira, V.(2017) Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro entre os anos de 1984 e 2015. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, **12**(4), 740-747.
- Dos Santos, W. M., Souza, R. M. S., De Souza, E. S., De Almeida, A. Q., E Antonino, A. C. D.(2017) Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, **2**(4), 368-376.
- Duarte, M. L., Silva Filho, E. P.(2019) Estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Juma com base em dados do satélite TRMM. *Caderno de Geografia*, **29**(52), 45-60.
- Fernandes, M. F., Queiroz, P.(2018) Vegetação e flora da Caatinga. *Ciência e Cultura [online]*, **70**(4), 51-56.
- França, M. V., Medeiros, R. M., Araújo, W. R.(2020) Erosividade na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, PE-Brasil. *Research, Society and Development*, **9**(7), e931974892-e931974892.
- Furtado, S. S. F.(2019) Índice de erosividade e fator R para Jaboticabal, SP. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista - UNESP.
- Guesri, M., Megnounif, A., Ghenim, A. N.(2020) Erosividade da chuva e produção de sedimentos no Nordeste da Argélia: estudo de caso da bacia hidrográfica de K'sob. *Arabian Journal of Geosciences*, **13**(7), 1-11.
- Lee, M. H., Lin, H. H.(2015) Evaluation of annual rainfall erosivity index based on daily, monthly, and annual precipitation data of rainfall station network in Southern Taiwan. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, **11**(6), 214-708.
- Lombardi Neto, F., Moldenhauer, W. C.(1962) Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, **51**(2), 189-196.
- Lukić, T., Lukić, A., Basarin, B., Ponjiger, T. M., Blagojević, D., Mesaroš, M., Janičević, S.(2019) Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Pannonian basin. *Open Geosciences*, **11**(1), 664-681.
- Mello, Y. R., E Oliveira, T. M. N.(2016) Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville(SC). *Revista Brasileira de Meteorologia*, **31**(2), 229-239.
- Nearing, M. A., Yin, S. Q., Borrelli, P., Polyakov, V. O.(2017) Rainfall erosivity: An historical review. *Catena*, **157**, 357-362.
- Ochoa, A. A, Fries, A., Mejía, D., Burneo, Ji, Ruíz-Sinoga, Jd, Cerdà, A.(2016) Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *Catena*, **140**, 31-42.
- Ribeiro Filho, J. C., Dos Santos, J. C. N., De Arujo Neto, J. R., De Aquino Lemos Filho, L. C., Brasil, J. B.(2017) Estimativa Das Erosividades Anuais e Mapeamento para o Estado do Ceará/Estimation of erosivity annual and mapping for the State of Ceará. *Revista Geonorte*, **8**(30), 1-15.

- Santos, J. C. N. D., Andrade, E. M. D., Medeiros, H. A., Guerreiro, M. J. S., Palácio, H. A. D. Q.(2017) Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista Ciência Agronômica*, **48**(2), 251-260.
- Reddy, V. R., Saharawat, Y. S., E George, B.(2017) Watershed management in South Asia: A synoptic review. *Journal of hydrology*, **551**, 4-13.
- Santos, J. C. N. D., Andrade, E. M. D., Medeiros, H. A., Guerreiro, M. J. S., e Palácio, H. A. D. Q.(2017) Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista Ciência Agronômica*, **48**(2), 251-260.
- 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**(3), 579-589.
- Silva, B. K. D. N., Silva, M. T., Barbosa, E., Silva, F. D. D. S., Rocha Júnior, R. L. D., Serrão, E. A. D. O., Silva, C. M. S.(2020) Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **35**(2), 871-879.
- Terassi, M., Biffi, V. H. R., Galvani, E., Oliveira-Júnior, J. F.(2019) Estimativas de erosividade e as precipitações diárias extremas na bacia hidrográfica do rio Alto Iguaçu-Paraná. *Revista Brasileira de Climatologia*, **25**(3), 241-265.
- Trindade, A. L. F., Oliveira, T. S. D., Anache, J. A. A., Wendland, E.(2016) Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **51**(12), 1918-1928.
- Vanni, S.M.(1998) *Modelos de regressão: Estatística aplicada*. São Paulo, Legmar Informática, 177pp.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D.(1978) *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: USDA, 58 pp.
- Zhou, J., Fu, B., Gao, G., Lü, Y., Liu, Y., Lü, N., Wang, S.(2016) Efeitos da precipitação e restauração da vegetação na erosão do solo em um ambiente semi-árido no Planalto de Loess, China. *Catena*, **137**, 1-11.