

Natural Erosion Potential of Soils in the State of Paraíba using GIS

Paulo R. M. Francisco*, Djail Santos**, Flavio P. de Oliveira***, George do N. Ribeiro****, Viviane F. Silva*****, Gypson D. J. Ayres*****, Raimundo C. M. Rodrigues*****

*Doutorando em Eng. e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com;

**Dr. Prof. Titular, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, djail.santos@academico.ufpb.br;

***Dr. Prof. Associado, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, flavio.oliveira@academico.ufpb.br;

****Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george@ufcg.edu.br;

*****Dra. Profa. Associada, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, viviane.farias@professor.ufcg.edu.br;

*****Doutorando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, fgypsond@gmail.com;

*****Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto_80@hotmail.com

Received 23 March 2023, Accepted 27 November 2023

ABSTRACT

This work estimated the Natural Erosion Potential using the K, R and S Factors for the lands of the State of Paraíba. A digital altimetry mosaic was used and the slope (S) was generated using QGIS® and the soil erodibility (K) was determined for the granulometric parameters M and the soil permeability P based on the information contained in the representative profiles of the Soil Bulletins of the State of Paraíba and the Agricultural Zoning of the State of Paraíba. The rainfall erosivity (R) was used rainfall records of 125 stations from the period 1940 to 1994 with series of 30 years of record of climatically homogeneous regions was converted the values of daily precipitation (P) into values of erosivity (EI_{30}) and specialized using kriging. The Natural Erosion Potential (PNE) was estimated by the product of the K, R and S parameters using geoprocessing techniques. According to the results, the S factor had less influence on the natural erosion potential in relation to the R factors with 38.79% in the middle class and K with 31.03% in the upper class. The results portrayed with reasonable fidelity the current state of the land and demonstrated that the natural erosion potential ranged from 50 to 250 Mg ha⁻¹ year⁻¹ in 59.63% of the area and are associated with Neosols, Luvisols and Argisols.

Keywords: Erosion risk, potential erosion, geoprocessing.

Potencial Natural de Erosão dos Solos do Estado da Paraíba utilizando SIG

RESUMO

Este trabalho estimou o Potencial Natural de Erosão utilizando os Fatores K, R e S para as terras do Estado da Paraíba. Foi utilizado um mosaico digital de altimetria e gerado a declividade (S) utilizando o QGIS® e a erodibilidade dos solos (K) foi determinada para os parâmetros granulométrico M e a permeabilidade do solo P baseado nas informações contidas nos perfis representativos dos Boletins de Solos do Estado da Paraíba e do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. A erosividade da chuva (R) utilizou-se registros pluviométricos de 125 postos do período 1940 a 1994 com séries de 30 anos de registro de regiões climaticamente homogêneas foi convertido os valores da precipitação diária (P) em valores de erosividade (EI_{30}) e especializado utilizando a krigagem. O Potencial Natural de Erosão (PNE), foi estimado pelo produto dos parâmetros K, R e S utilizando técnicas de geoprocessamento. De acordo com os resultados o fator S apresentou menor influência ao potencial natural a erosão em relação aos fatores R com 38,79% na classe média e K com 31,03% na classe alta. Os resultados retrataram com razoável fidelidade ao estado atual das terras e demonstraram que o potencial natural de erosão variou entre 50 a 250 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em 59,63% da área e estão associados aos Neossolos, Luvisolos e Argissolos.

Palavras-chave: risco de erosão, erosão potencial, geoprocessamento.

1 Introdução

O uso e o manejo inadequado das terras têm degradado os solos, acelerando o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente, particularmente nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro onde a vulnerabilidade ambiental é

acentuada pelos limites restritivos dos atributos dos solos e a intensidade das variáveis climáticas (Chaves et al., 2010).

A erosão acentuada do solo consiste em um dos principais problemas ambientais causados pela atividade agrícola. Em regiões tropicais a erosão

hídrica tem grande importância, contribuindo para a degradação dos solos, ocasionando a perda de sua camada mais fértil (Bertoni & Lombardi Neto, 1999). Este fenômeno consiste no desprendimento, transporte e deposição de partículas de solo. Apesar de ser um processo natural, a erosão pode ser intensificada em função das atividades antrópicas desenvolvidas em determinada área (Braga et al., 2013).

A erosividade das chuvas é definida como o seu potencial em causar erosão (Santos et al., 2007). O índice de erosividade de chuva (EI_{30}) é determinado por meio do produto da energia cinética total do evento e a intensidade máxima em 30 minutos. É a melhor relação para medir a potencialidade erosiva da chuva em regiões de clima temperado, sendo utilizado para estimar o valor do fator R da USLE (Wischmeier & Smith, 1958). A erosividade da chuva varia muito de região para região e conhecê-la, tanto no espaço quanto no tempo, é fundamental para o planejamento de práticas de manejo e de conservação do solo e da água que visam a minimizar os efeitos adversos da erosão hídrica (Viola et al., 2014).

Várias pesquisas quanto à erosividade dos solos na região Nordeste foram realizadas como por Cantalice et al. (2009) no Estado de Pernambuco; Amaral et al. (2014), Trindade et al. (2016), Chaves et al. (2004; 2021) no Estado da Paraíba.

A erodibilidade é uma propriedade do solo resultante da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas. Reflete a perda diferencial que os solos apresentam quando os demais fatores que influenciam a erosão permanecem constantes, sendo influenciada principalmente por aquelas características que afetam a capacidade de infiltração e permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte de partículas pela chuva e enxurrada (Lombardi Neto & Bertoni, 1975).

Estudos da erodibilidade para dos solos do Estado da Paraíba foram realizados por Leite (1979), Leite et al. (1982), Távora et al. (1985), Albuquerque (1997), Silva et al. (1997), Marques et al. (1997a; 1997b), Silva et al. (2000), Nogueira (2000), Paes-Silva et al. (2003), Bertol et al. (2002), Chaves et al. (2004), Mendonça (2005), Silva et al. (2007), Francisco et al. (2013), Dias e Silva (2015), Francisco et al. (2019; 2019c), Queiroz et al. (2021), e por Francisco et al. (2022).

O potencial natural de erosão do solo (PNE) se relaciona com os fatores condicionantes do meio físico que interferem no processo de erosão laminar (R, K, L e S), o mesmo compreende a perda de solo em áreas com solo exposto e livre de ações antrópicas. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014), o PNE contempla os fatores do meio físico básicos na avaliação de erosão, a topografia, o clima e o solo. As estimativas do PNE, expressas por sua distribuição

espacial georreferenciada, permitem auxiliar no ordenamento do uso e ocupação de áreas potencialmente susceptíveis à erosão (Valério Filho, 1994).

Diversos pesquisadores de diversas regiões como Silva (2008), Carvalho et al. (2010), Demarchi (2012), Francisco e Chaves (2017), Queiroz et al. (2021) e Francisco et al. (2022) têm utilizado o Potencial Natural de Erosão (PNE), definido a partir dos parâmetros físicos da EUPS (R, K e LS), para estimar as perdas de solos.

O potencial natural de erosão do solo, quando apresentado em forma cartográfica, permite uma clara interpretação do risco de erosão que pode existir em função das características do meio físico (Silva et al., 2007).

Neste contexto, o sistema de informação geográfica é uma tecnologia que abrange cada vez mais projetos ambientais, sendo um agente facilitador na tomada de decisão (Francisco et al., 2011).

Portanto, este trabalho propõe estimar o Potencial Natural de Erosão utilizando os Fatores K, R e S para as terras do Estado da Paraíba através da krigagem, de técnicas de modelagem de dados e do geoprocessamento.

2 Material e métodos

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km² (IBGE, 2021). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (Figura 1). Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste, com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (Francisco, 2010).

O relevo apresenta-se de forma geral bastante diversificado, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos do Estado: úmido, subúmido e semiárido. O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas, como Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta, Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada, Caatinga Arbórea Fechada, Tabuleiro Costeiro, Mangues, Mata-úmida, Mata semidecidual, Mata Atlântica e Restinga (PARAÍBA, 2006).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) com baixa amplitude térmica anual, em função da baixa latitude e elevações (<700 m). A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar os 1.600mm (Varejão-Silva et al., 1984) (Figura 1).

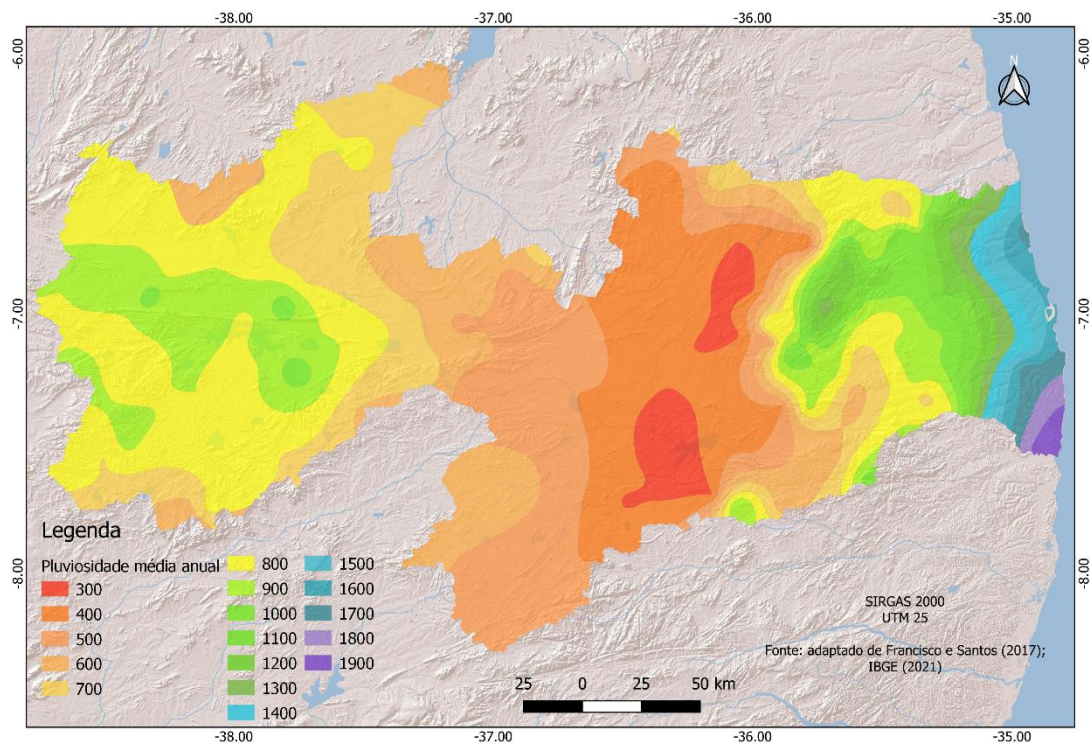


Figura 1. Pluviosidade média anual do Estado da Paraíba.
Fonte: adaptado de Francisco et al. (2015).

Conforme Francisco et al. (2015), o Estado da Paraíba apresenta, de acordo com a classificação climática de Köppen, quatro tipos diferentes de clima. O clima Aw, que caracteriza a região do Litoral norte como Tropical com estação seca no inverno, o clima Am no Litoral norte e Sul do Estado, o tipo climático as que dominam em sua maioria nas regiões de parte do Litoral, Brejo, Agreste e em pequena faixa da região do Sertão e em toda área do Alto Sertão. O tipo climático Bsh é predominante na área do Cariri/Curimataú, e boa parte da área do Sertão.

As classes predominantes de solos área de estudo estão descritas no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), e estas

diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características (Francisco et al., 2013).

De uma forma geral os solos predominantes são os Luvisolos crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Solódicos, Neossolos Regolíticos Distróficos e Eutróficos distribuídos pela região do sertão e nos cariris, os Vertissolos na região de Souza, e os Argissolos Vermelho Amarelo e os Neossolos Quartzarênicos no litoral do Estado (Francisco, 2010) (Figura 2).

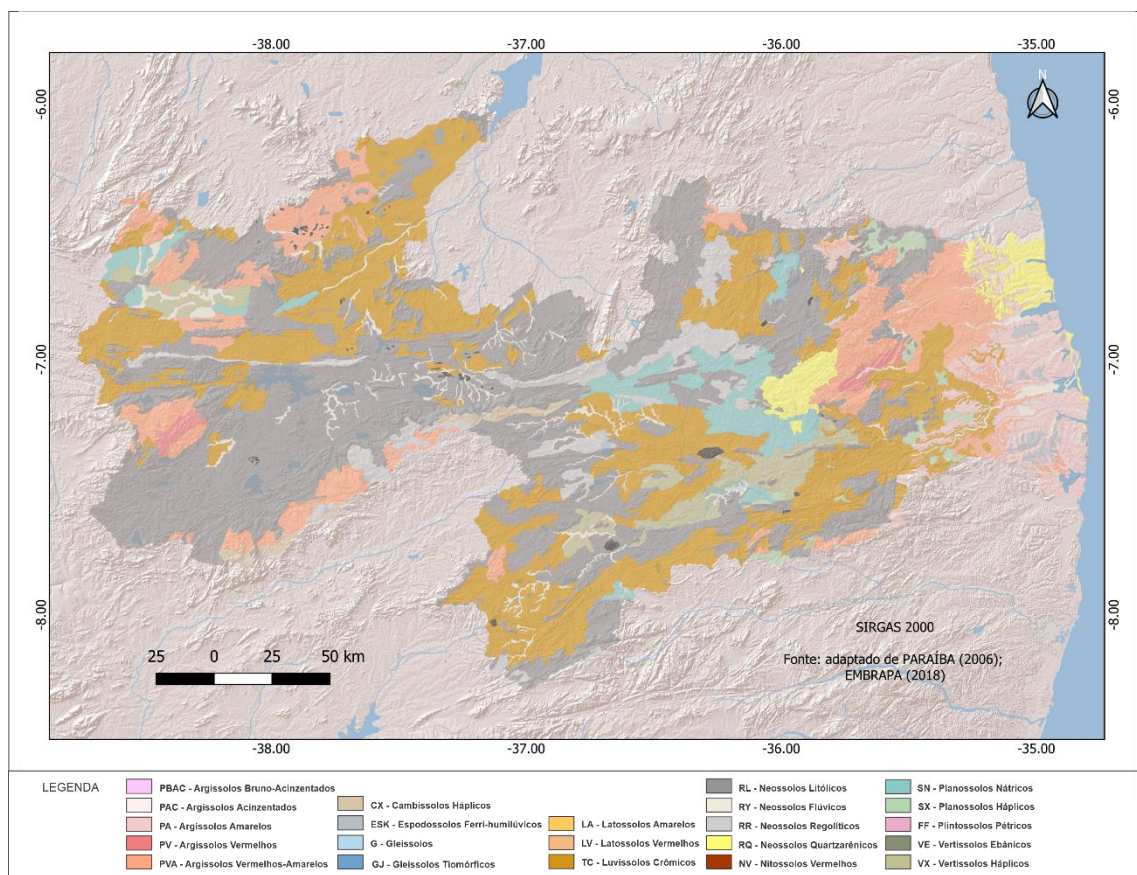


Figura 2. Solos do Estado da Paraíba.

Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); EMBRAPA (2018); ESRI (2022).

Para elaboração deste trabalho foi adquirido um mosaico digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), elaborado pela NASA (Agência Espacial Americana) e obtido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no programa TOPODATA (INPE, 2011) dos quadrantes SB24ZA, SB24ZB, SB24ZC, SB24ZD, SB25YA, SB25YC, SC24XB, com dados de altimetria, para pontos espaçados numa malha quadrada de 30 metros de distância. Além do arquivo de malha digital dos limites do Estado da Paraíba elaborado pela Coordenação de Cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

Após foi utilizado o software QGIS® 3.28 para importação dos dados e elaboração da declividade utilizando o plugin *raster* em análise e classificação conforme Francisco et al. (2013) (Tabela 1), e realizado o recorte dos limites utilizando arquivo do IBGE (2021).

O fator declividade (S) foi calculado pela equação ajustada por Bertoni e Lombardi Neto (1990) representada pela Equação 1.

$$LS = 0,00984 C^{0,63} \times D^{1,18} \text{ (Eq. 1)}$$

Onde: o comprimento de rampa (C) foi considerado igual à medida padrão de 25 metros.

Tabela 1. Parâmetros para classificação dos Fatores R, K, S e PNE

Classes de Risco	Erosividade Fator R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	Erodibilidade Fator K (Mg mm MJ ⁻¹ ha ⁻¹)	Declividade Fator S	PNE (R x K x S) (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Muito Baixa	< 2.000	< 0,0145	< 0,273	< 5
Baixa	2.000 – 4.000	0,0145 - 0,0235	< 0,619	5 - 50
Média	4.000 – 6.000	0,0235 - 0,0280	< 1,403	50 - 250
Alta	6.000 – 8.000	0,0280 - 0,0325	< 2,564	250 - 800
Muito Alta	> 8.000	> 0,0325	> 2,564	> 800

Fonte: adaptado Fator R (Chaves et al., 2021); Fator K (Chaves et al., 2004); Fator S (Francisco et al., 2013); PNE (Francisco & Chaves, 2017).

A erodibilidade dos solos (K) da área de estudo foi determinada pela equação proposta por Denardin (1990), para o conjunto dos solos brasileiros e americanos, simplificada por Chaves et al. (2004) para os dois principais parâmetros, o fator granulométrico M e a permeabilidade do solo P.

Na elaboração do mapa de erodibilidade foi criada uma planilha no Excel© em que cada polígono de solo da área de estudo, baseado nas informações contidas nos perfis representativos dos Boletins de Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972) e do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), teve calculado sua erodibilidade, baseada na metodologia proposta por Chaves et al. (2004).

Nesta proposta os autores considerando a possibilidade de obtenção dos dados do boletim de solos brasileiros, através de um artifício para estimativa dos dados de granulometria a partir da classificação internacional para a classificação americana, utilizam o modelo proposto por Denardin (1990), para estimar a erodibilidade dos solos (Equação 2).

$$K = 0,00000748 (X_{25}) + 0,00448059 (X_{29}) - 0,06311750 (X_{27}) + 0,01039567 (X_{32}) \text{ (Eq.2)}$$

Onde: K, é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em $\text{Mg hMJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; X_{25} , é a variável granulométrica “M”, calculada a partir da determinação pelo método da pipeta; X_{29} , é a permeabilidade do perfil de solo, codificada conforme Wischmeier et al. (1971); X_{27} , é o diâmetro médio ponderado das partículas menores do que 2mm, expresso em mm; X_{32} , é a relação entre o teor de matéria orgânica e o teor da “nova areia” determinada pelo método da pipeta.

Considerando o alto grau de determinação do parâmetro X_{25} (variável granulométrica “M”), com $r^2 = 0,9461$, a estimativa da erodibilidade dos solos foi calculada pela equação de K, reduzida aos dois primeiros parâmetros, cuja expressão matemática ajustada por Denardin (1990) passou a ser conforme a Equação 3.

$$K = 0,00000797 (X_{25}) + 0,0029283 (X_{29}) (r^2 = 0,9561) \text{ (Eq.3)}$$

A variável “M” é um artifício que exalta a ocorrência das frações granulométricas do solo mais facilmente dispersas e transportadas pela água, o silte e a areia muito fina. Essas frações agrupadas numa mesma classe textural, passaram a ser chamada de fração “novo silte (NS)” enquanto, a fração areia com a subtração da fração areia muito fina, passou a ser chamada de “nova areia (NA)” (Wischmeier et al.,

1971). Assim, a variável “M” é expressa pelo produto entre os valores percentuais da fração novo silte, vezes a soma das frações novo silte + nova areia ($M = NS \times (NS + NA)$).

Nos boletins de solos brasileiros o resultado da análise granulométrica é apresentado na classificação internacional (ISSS), enquanto, originalmente, a variável “M” utiliza os dados da classificação americana (USDA); assim, para a conversão dos dados granulométricos da classificação internacional dos boletins de solos brasileiros, com vista à classificação americana, Chaves et al. (2004) propuseram a Equação 4.

$$M = 640,03 e^{0,0003 M_i} (r^2 = 0,8214) \text{ (Eq.4)}$$

Sendo: M = valor de “M” corrigido, ou da variável X_{25} do modelo de Denardin, e M_i = valor obtido do boletim de solos (classificação internacional).

A estimativa da permeabilidade dos solos (variável X_{29}) foi realizada a partir da correspondência entre as classes de drenagem descritas no boletim de solos (BRASIL, 1972) e as classes de permeabilidade propostas e codificadas por Wischmeier et al. (1971) (Tabela 2).

Tabela 2. Correspondência entre classes de drenagem e permeabilidade

Classes de Drenagem	Classes de Permeabilidade
Muito mal drenado	Muito lenta
Mal drenado	Muito lenta
Imperfeitamente drenado	Lenta
Moderadamente drenado	Lenta a moderada
Bem drenado	Moderada
Acentuadamente drenado	Moderada a rápida
Fortemente drenado	Rápida
Excessivamente drenado	Rápida

Fonte: BRASIL (1972); Wischmeier et al. (1971).

Para as descrições de drenagem intermediárias entre duas classes do tipo “bem drenado a acentuadamente drenado”, adotou-se uma codificação de valor intermediário, exemplo, 2,5. Os dados sobre textura (X_{25}) e permeabilidade (X_{29}) foram interpretados e calculados a partir da ordenação dos dados dos perfis de solos descritos no Boletim de Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972).

Na metodologia para o enquadramento das classes utilizou-se o valor da erodibilidade do solo representativo de cada unidade de mapeamento, ou seja, o solo dominante de cada associação de solo. Para cada solo foi considerado apenas o valor da erodibilidade do horizonte superficial; assim, para cada polígono do mapa foi atribuído um valor

representativo de erodibilidade; em seguida, agrupados em cinco classes de erodibilidade.

Com vista à elaboração do mapa de erodibilidade do solo foi realizada a classificação adaptada de Chaves et al. (2004) para o enquadramento das classes definidas conforme a Tabela 1 expressos em megagrama hora por megajoule milímetro.

Após, utilizando o software QGIS® 3.28, foi importado o arquivo em formato *shape* dos solos fornecido por PARAÍBA (2006) e atualizado os seus limites utilizando arquivo do IBGE (2021), onde foi

elaborado o mapa de erodibilidade através da tabela de atributos e realizado o cálculo de área.

Na elaboração do mapa de erosividade da chuva (R) utilizou-se a metodologia de Chaves et al. (2021), com registros pluviométricos de 125 postos do período 1940 a 1994 (SUDENE), em que para a maioria dos postos foram utilizadas séries contínuas de 30 anos de registro diário de precipitação. Utilizando as equações da Tabela 3, representativas de regiões climaticamente homogêneas do Estado, foi convertido os valores da precipitação diária (P) em valores de erosividade (EI_{30}) para a área de estudo.

Tabela 3. Equações representativas de diferentes zonas climáticas da Paraíba

Região	Tipo de Clima	Período	Equação adotada	Referência
Litoral e Mata	Clima As'	-	$EI_{30} = 0,8522 P^{1,461}$ ($r^2 = 0,743$)	Maia Neto (1996)
Cariri e Curimataú	Clima Bsh	-	$EI_{30} = 0,382 P^{1,791}$ ($r^2 = 0,730$)	Leite Junior (1998)
Zona do Sertão	Clima Aw'	-	$EI_{30} = 0,327 P^{1,860}$ ($r^2 = 0,750$)	Coelho (1994)
Zona do Brejo	Clima As'	Quente	$EI_{30} = 0,2629 P^{1,907}$ ($r^2 = 0,780$)	Silva (1996)
		Frio	$EI_{30} = 0,2177 P^{1,760}$ ($r^2 = 0,740$)	

Fonte: Chaves et al. (2021).

Pela somatória dos valores diários da erosividade foram obtidos os dados mensais e anuais. Os valores médios anual da erosividade representam as estimativas do Fator R da Equação Universal de Perdas. Pelas coordenadas geográficas de cada posto, os dados médios anual de erosividade foram espacializados por interpolação por krigagem (Yamamoto & Landim, 2013), utilizando o SURFER® 11 Trial e após importado ao QGIS® 3.28 onde foi gerado o mapa anual de erosividade de acordo com as classes determinadas por Lombardi Neto e Mondenhauer (1992) e descritas na Tabela 5.

Para a elaboração do mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE), foi estimado pelo produto dos parâmetros da Equação 6 conforme Francisco e Chaves (2017).

$$\text{Erosividade da chuva (R) x Erodibilidade do solo (K)} \\ \text{x Declividade (S) (Eq.6)}$$

Para os cálculos foi utilizada uma planilha eletrônica e para a modelagem a linguagem de programação QGIS® 3.28 conforme a Tabela 1.

3 Resultados e discussão

Observa-se que a declividade da área de estudo - Fator S (Figura 3), apresenta-se em sua maioria na classe muito baixa de declividade em 44,81% (Tabela 4) distribuída nas regiões do litoral até os limites do Planalto da Borborema e sob o planalto e após na região do Sertão com altitudes mais baixas (300 m) e em diversos tipos de solos de todo o Estado em áreas mais baixas na drenagem. A classe baixa de declividade se apresenta-se em 22,74% seguida pela classe média em 17,36%. As classes alta e muito alta representam 15,1% e estão localizadas nos contrafortes do Planalto da Borborema, na depressão sertaneja e na divisa com Pernambuco.

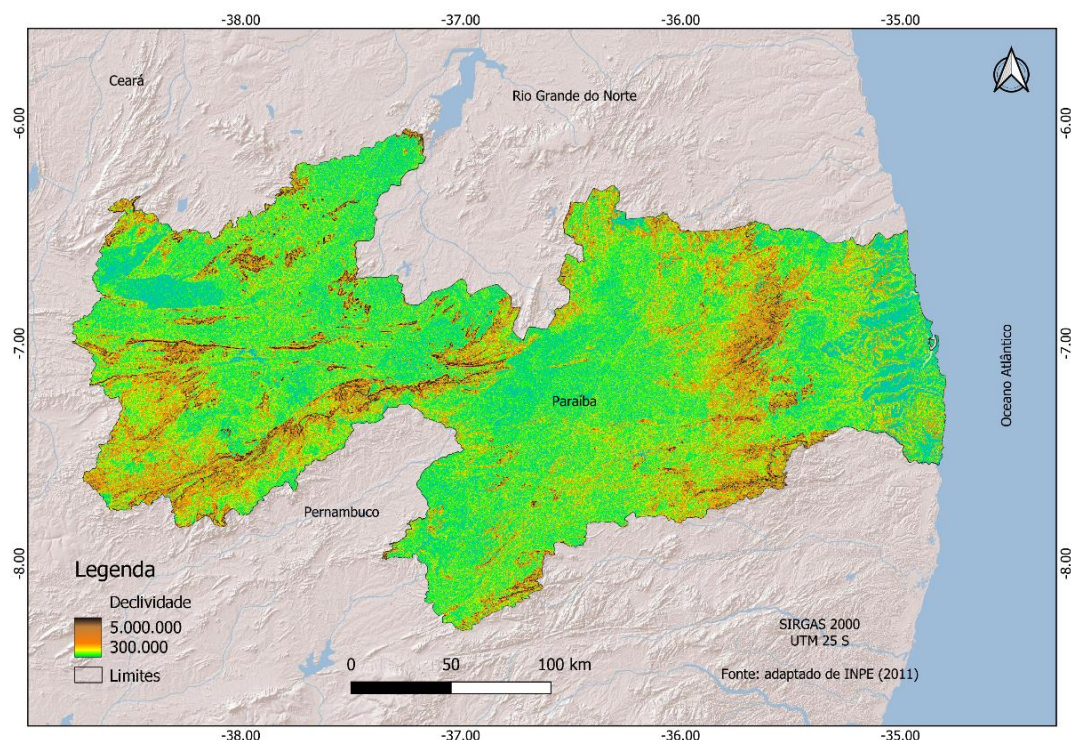


Figura 3. Declividade do Estado da Paraíba – Fator S.
Fonte: adaptado de INPE (2011); IBGE (2021); ESRI (2022).

De acordo com Francisco (2010), a declividade é uma componente relacionada à ação da gravidade. Francisco (2013) afirma que, estudos de pesquisa em parcelas de erosão mostram que as perdas de solo aumentam exponencialmente, quando também

aumenta a declividade do terreno; sendo assim, é de se esperar que, mantidas as demais condições constantes, aumentando a declividade, aumenta o risco potencial de ocorrer erosão.

Tabela 4. Áreas das classes dos fatores

Classes	Fator R		Fator K		Fator S		PNE	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Muito Baixa	1.633,38	2,89	1.531,31	2,71	25.301,35	44,81	8,46	0,01
Baixa	21.906,02	38,79	11.500,88	20,37	12.837,95	22,74	10.289,36	18,22
Média	17.467,69	30,93	10.709,90	18,97	9.802,82	17,36	33.672,80	59,63
Alta	13.559,43	24,01	15.204,37	26,93	4.502,26	7,97	12.430,47	22,01
Muito Alta	1.900,72	3,37	17.520,77	31,03	4.022,86	7,13	66,16	0,12
Total	56.467,24	100	56.467,24	100	56.467,24	100	56.467,24	100

Observa-se no mapa de erosividade média anual (Fator R) (Figura 4), que a classe baixa (<2.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹) localiza-se na região do terço médio do Estado, sobre o Planalto da Borborema, que

conforme Chaves et al. (2021), apresenta mais baixa precipitação e é também a de menor potencial erosivo.

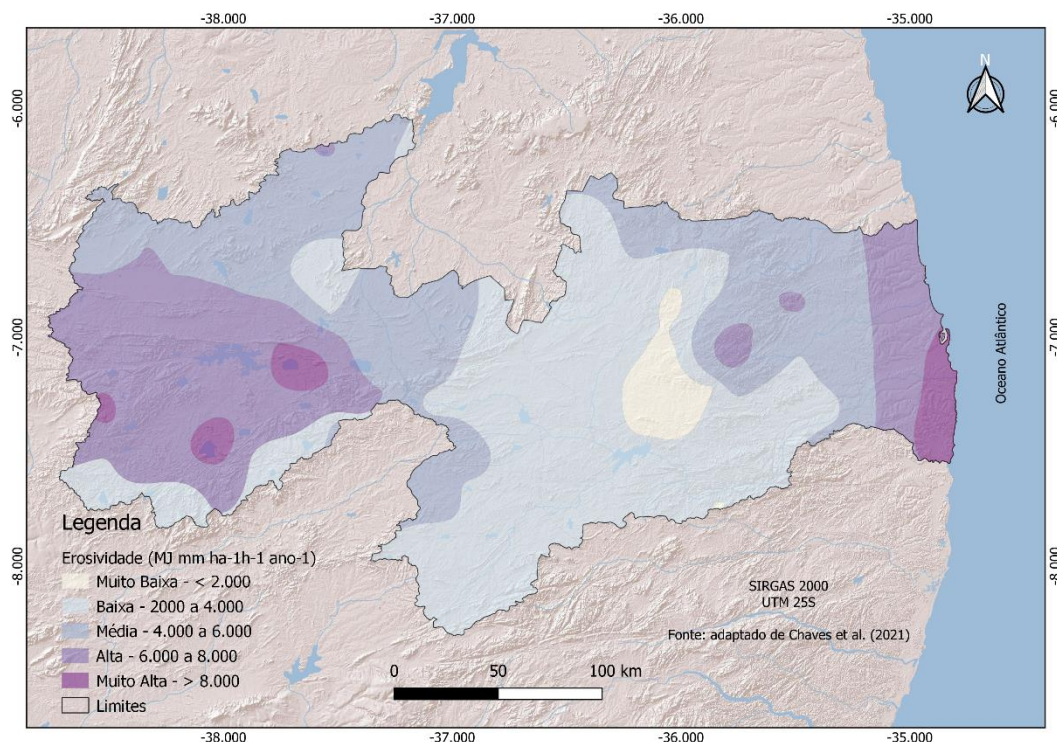


Figura 4. Erosividade média anual do Estado da Paraíba – Fator R.
Fonte: adaptado de Chaves et al. (2021); IBGE (2021); ESRI (2022).

A classe baixa de erosividade ($2.000 \text{ a } 4.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) localiza-se ao leste, adentrando a região do Agreste Acaatingado que de acordo com Chaves et al. (2021) com chuvas mais influenciadas pela ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) em área com precipitação próxima aos 900 mm.ano^{-1} . Para o oeste, sobre o Planalto da Borborema, a erosividade aumenta com a altitude e a precipitação está relacionado aos 500 mm.ano^{-1} .

Quanto a classe média de erosividade ($4.000 \text{ a } 6.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), ocorre na região do Sertão, o terço oeste do Estado, que conforme Chaves et al. (2021), apresenta chuva com o maior potencial erosivo, em grande parte com um valor acima dos $5.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, para uma precipitação média anual acima de 700 mm . A classe média apresenta-se também no Agreste Acaatingado em menor proporção seguindo a faixa Litorânea.

A classe alta de erosividade ($6.000 \text{ a } 8.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) se distribui em pequenas áreas na zona central do Sertão, região com chuvas de verão, e ocorre também ao leste do Estado na faixa litorânea onde ocorre maiores precipitações.

Para a classe muito alta de erosividade ($>8.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), esta ocorre na região litorânea sul do Estado em núcleos costeiros da Zona da Mata, que conforme Chaves et al. (2021), região com precipitação anual acima de 2.000 mm , onde a

erosividade pode chegar aos $10.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

A região Nordeste brasileira apresenta os valores mais baixos de erosividade enquanto o território brasileiro apresenta uma média observada para a erosividade variando entre $1.672 \text{ a } 22.452 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Oliveira et al., 2012), dependendo da extensão territorial e do clima local (Jardim et al., 2017).

De acordo com Panagos et al. (2017) onde estimaram a erosividade da chuva para 3.625 estações em 63 países em que a erosividade média das chuvas apresentou valores médios de $2.190 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com os maiores valores para a América do Sul ($>3.700 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), em que para o Brasil, com informações obtidas em 87 estações com dados de 1986 a 2008 (Oliveira et al., 2012) obtiveram os valores maiores de $7.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Valores condizentes com o obtido por este trabalho para o Estado da Paraíba.

Pelos dados representados pelo mapa de erodibilidade (Figura 5) (Tabela 4), observa-se que a classe de erodibilidade muito baixa ($<0,0145 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) com representação de 2,71% do total ($1.531,31 \text{ km}^2$), estes representados pelo Latossolo Amarelo na região do Brejo (0,0133); e na região do Litoral pelo Argissolo Vermelho Amarelo (0,0102), Neossolos Quartzarênico (0,0116), e pelo Gleissolo Tiomórfico Órtico sálico (0,0082).

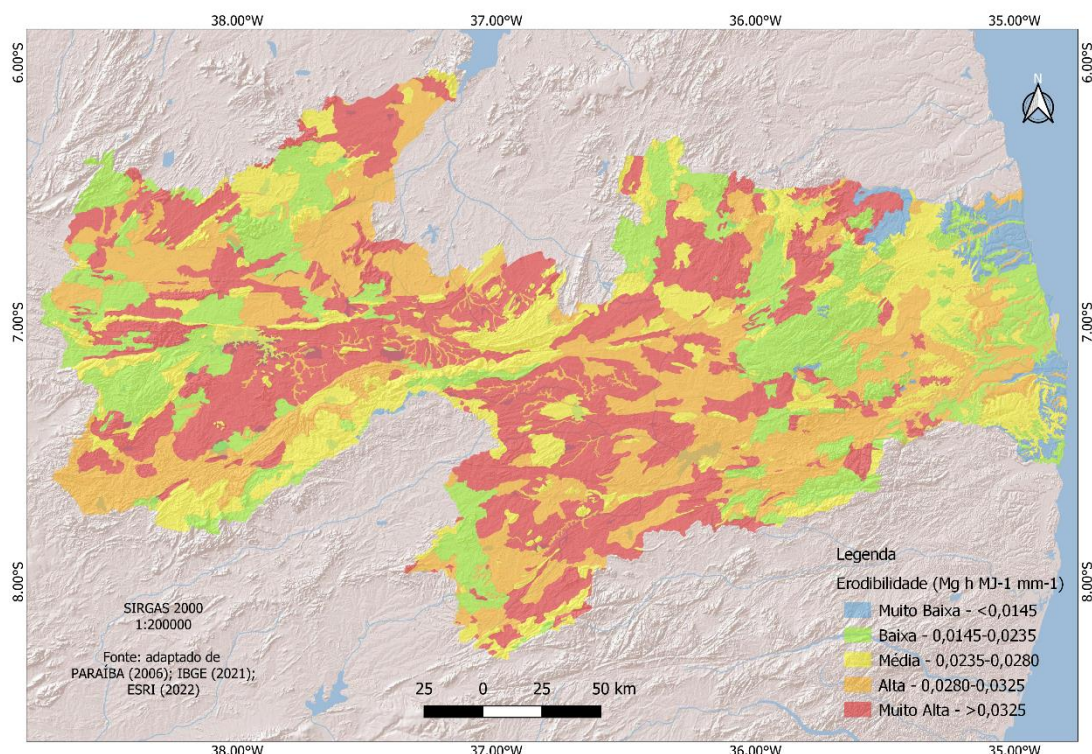


Figura 4. Erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba - Fator K.
Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

A classe de erodibilidade baixa ($0,0145$ a $0,0235 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) com representação em Ótico $20,37\%$ ($11.500,88 \text{ km}^2$), representado pelos Argissolos Amarelos localizados no litoral ($0,0149$ a $0,0197$), Argissolos Vermelhos no Brejo e Sertão ($0,0187$ a $0,0230$); Cambissolos Háplicos sob o Planalto da Borborema ($0,0226$), Latossolos Amarelos no Brejo e litoral ($0,0149$ a $0,0197$).

A classe de erodibilidade média ($0,0236$ a $0,0280 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) com representação em área de $18,97\%$ ($10.709,9 \text{ km}^2$), apresenta a maior diversidade de classes de solos. Estes estão representados no litoral por Argissolos Vermelho-Amarelos ($0,0275$), Espodossolos Ferri-humilúvicos ($0,0240$), Plintossolos Argilúvicos ($0,0275$); sob o Planalto da Borborema o Neossolos Regolíticos ($0,0239$) e Vertissolos Ebânicos ($0,0233$); no sertão os Neossolos Quartzarênicos ($0,0239$); Vertissolos Háplicos distribuídos na região do sertão da Borborema ($0,0262$) e por Luvisolos Crômicos ($0,0264$).

A classe de erodibilidade alta ($0,0281$ a $0,0325 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) ocupa uma área de $15.204,37 \text{ km}^2$ do Estado, em que estas terras ocorrem de forma difusa, sendo a segunda maior representação. Consultando a lista dos solos constata-se que, predominantemente, os solos representativos da classe de erodibilidade alta são os Luvisolos Crômicos, Planossolos e Cambissolos.

Observa-se que a erodibilidade destes solos está fortemente associada à presença de frações silte+areia muito fina (fator M), e de forma secundária, a permeabilidade, em $26,93\%$ da área (Tabela 3), observado também por (Francisco et al., 2019a). Estes são solos com teores elevados de silte e areia fina, frações estas, que em conjunto, estão associadas a 93% das variações da susceptibilidade dos solos a erosão (Renard et al., 1997). Dados que concordam com os resultados obtidos por Francisco (2013) e Francisco et al. (2013b; 2019). E de forma secundária, associados a permeabilidade baixa (Francisco et al., 2019b).

A classe de erodibilidade muito alta ($>0,0325 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) com maior representatividade em área de $31,03\%$ ($17.520,77 \text{ km}^2$), estes estão representados pelo Luvisolos Crômicos distribuídos no Planalto da Borborema e Sertão ($0,0378$ - $0,0459$); no Sertão pelos Planossolos Háplicos e Planossolos Nátricos ($0,0378$ e $0,0543$, respectivamente) e pelos Neossolos Litólicos e Regolíticos ($0,0330$ e $0,0391$, respectivamente).

No mapa de potencial natural de erosão (PNE) (Figura 5), e pela Tabela 4, pode-se observar que a classe muito baixa que varia até $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ocorre somente em $8,46 \text{ km}^2$ da área total, localizada na região de Campina Grande em baixa declividade, com solos de baixa erodibilidade com ocorrência de baixa erosividade causada pela chuva e estão associadas ao

Planossolo Nátrico Órtico típicos localizados em áreas planas.

Em escala de trabalho maior, localizada em microbacia na região do litoral sob Argissolo Vermelho Amarelo, Costa e Silva (2012) observaram potencial de perda de até 5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para estes solos.

A classe baixa do PNE (5 a 50 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) ocorre em 18,22% das terras em 10.289,36 km² localizada sob o Planalto da Borborema com relevo suave ondulado, com erodibilidade e erosividade baixa, no Cariri na região de Monteiro, no Sertão na divisa com Pernambuco e na região de Sousa, no Agreste e no Litoral em solos Argilosos situados em relevo plano à suave ondulado.

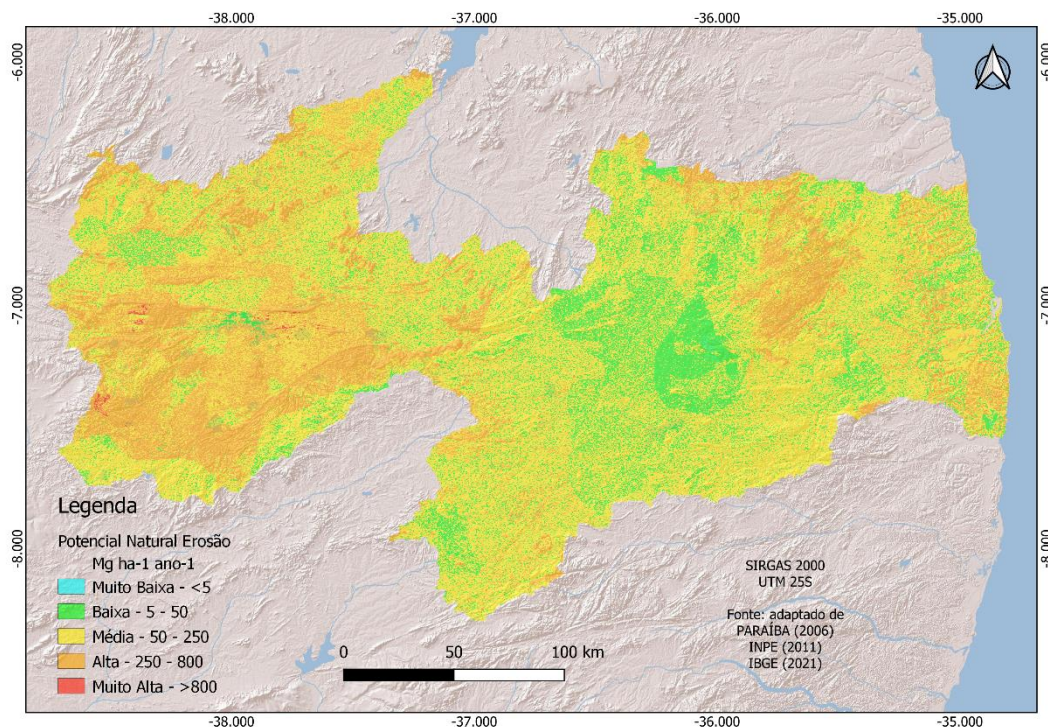


Figura 5. Potencial Natural de Erosão dos solos do Estado da Paraíba - PNE.
Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

A classe média ocorre em 59,63% da área (33.672,80 km²) distribuída por toda do Estado sob principalmente os Neossolos, Luvisolos e Argissolos. Resultado este influenciado pela média erodibilidade dos solos e pela declividade plana à suave ondulada do terreno como também pela média erosividade.

Francisco et al. (2019c) estimando o potencial natural de erosão da bacia do Alto Rio Paraíba observaram que se apresentou predominante na classe média com ocorrência em 68,9% da área, resultante em grande parte da erodibilidade média e alta dos solos, em que o baixo potencial erosivo das chuvas e o relevo mais plano da bacia neutraliza um maior potencial de erosão. Queiroz et al. (2021) estimando o potencial de perdas natural à erosão na bacia do Açude Namorado na região do Cariri obtiveram resultado similar na classe média sob os Argissolos e Vertissolos.

Para a classe alta de potencial natural de erosão (235 a 800 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), observa-se sua ocorrência em 22,1% da área (Tabela 4). Estas áreas se localizam no Litoral em áreas de menor declividade

influenciado pela maior pluviosidade e consequentemente maior erosividade sob solos variando entre a classe baixa à média erodibilidade em predominantemente sob os Argissolos Vermelhos Amarelos ao sul do Estado e sob os Neossolos Flúvicos em toda a faixa litorânea. Trindade (2018) estimou para o Latossolo Amarelo e o Argissolo Vermelho Amarelo valores menores de 200 t.ha⁻¹.ano em 91,98% da bacia do Rio da Dona na Região Econômica do Recôncavo Sul do Estado da Bahia.

A classe alta ocorre também na região do Brejo, áreas com maior elevação e sob influência de ocorrência de maior pluviosidade sob Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Regolíticos ao entorno do município de Areia, e em Neossolos Litólicos, Luvisolos Crômicos e Planossolos Nátricos adentrando a região de serra até divisa com o Rio Grande do Norte. No Sertão e Baixo Sertão a classe alta em sua maioria ocorre sob os Neossolos Litólicos e Luvisolos Crômicos em relevo ondulado, e no terço superior do Sertão em relevo forte ondulado. Francisco et al. (2022), na

microbacia de Vaca Brava, identificaram que o potencial natural de erosão da classe alta se encontra em 71,17% da área total da bacia sob os Argissolos. Resultado este influenciado pela média erosividade da chuva e pela declividade do terreno devido estar localizado em regiões de altitude.

Pereira et al. (2017), estudando a aplicação da EUPS em bacia hidrográfica no Estado de Tocantins, observaram resultados de baixo potencial a erosão em 70,89% da área. Demarchi et al. (2019) avaliando bacia hidrográfica no Estado de São Paulo, observaram que as classes de PNE mais elevadas estão relacionadas à ocorrência de solos de maior erodibilidade e às médias e baixas vertentes de declividade superior a 12% onde as perdas médias de solo por erosão variaram de 35,56 t.ha⁻¹ para as pastagens degradadas e 1,81 t.ha⁻¹ para as áreas campestres.

Fiorese (2021), avaliando sub-bacia hidrográfica no Estado de Espírito Santo, observou que a mesma possui elevada tendência natural à erosão em quase a metade de suas terras, onde pode ser atribuído às irregularidades do relevo além do elevado índice de pluviosidade com valores entre 400 a 1.600 (ton/ha.ano) em 81,59% da área.

4 Conclusão

Embora apresente limitações relativas à escala de trabalho, o uso de técnicas do geoprocessamento e krigagem permitiu estimar e mapear o potencial natural de erosão das terras.

O fator S apresentou menor influência ao potencial natural a erosão em relação aos fatores R com 38,79% na classe média e K com 31,03% na classe alta.

Os resultados retrataram com razoável fidelidade ao estado atual das terras e demonstraram que o potencial natural de erosão variou entre 50 a 250 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em 59,63% da área e estão associados aos Neossolos, Luvisolos e Argissolos.

As informações geradas neste estudo poderão servir de suporte para o planejamento conservacionista da área, e com isso, será possível adotar estratégias de recuperação e prevenção de danos aos recursos ambientais e aumentar a capacidade produtiva, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico.

5 Referências

Albuquerque, A.W. de. 1997. Determinação de parâmetros para a equação universal de perda de solo nas condições de Sumé-PB. 149f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba.

- Amaral, B.S.D.; Dantas, J.S.; Silva, R.M.; Carvalho Neto, J.F. 2014. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7(4) 691-701.
- Bertol, I.; Schick, J.; Batistela, O.; Leite, D.; Visentin, D.; Cogo, N.P. 2002. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 26(2) 455-464.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 1999. *Conservação do solo*. 4.ed. São Paulo: Ícone.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 2014. *Conservação do solo*. 9. ed. São Paulo: Ícone, 355p.
- Braga, A.C.F.M.; Silva, R.M.; Santos, C.A. G.; Galvão, C.O.; Nobre, P. 2013. Downscaling of a global climate model for estimation of runoff, sediment yield and dam storage: A case study of Pirapama basin, Brazil. *Journal of Hydrology* 498(1) 46-58.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. 1972. *Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba*. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).
- Cantalice, J.R.B.; Bezerra, S.A.; Figueira, S.B.; Inácio, E.S.B.; Silva, M.D.R.O. 2009. Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco. *Revista Caatinga* 22 75-80.
- Carvalho, E.M.; Pinto, S.A.F.; Sepe, P.M.; Rosseti, L.A.F.G. 2010. Utilização do geoprocessamento para avaliação de riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: estudo de caso da bacia do rio Passa Cinco/SP. In: *Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, 3, 2010, Recife. *Anais...Recife: UFPE*.
- Chaves, I. B.; Francisco, P.R.M.; Macêdo, M.L.A. de. 2021. Precipitação e erosividade das chuvas do Estado da Paraíba. In: *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*, 8, Goiânia, 2021. *Anais...Goiânia*.
- Chaves, I.B.; Slack, D.C.; Guertin, D.P.; Lopes, V.L. 2004. Estimativa da erodibilidade e sua relação com outros atributos dos solos do Estado da Paraíba. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 15, Santa Maria, 2004. *Anais...SBCS, Santa Maria*.
- Chaves, I. de B.; Francisco, P.R.M.; Lima, E.R.V. de. 2010. Classificação das terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 18, 2010, Piauí. *Anais...Piauí: SBCS*.
- Coelho, E.A.C. 1994. Estimativa da erosividade da chuva a partir da pluviometria diária: métodos e amostragem. 72f. *Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Solos)*. Centro de

- Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Costa, S.G.F.; Silva, R.M. 2012. Potencial natural e antrópico de erosão na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra. *Revista Cadernos do Logepa* 7 72-91.
- Demarchi, J.C.; Piroli, E.L.; Zimback, C.R.L. 2019. Estimativa de perda de solos por erosão laminar e linear na bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas (SP), nos anos 1962 e 2011. *Revista Raega* 46 110-131.
- Denardin, J.E. 1990. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 81f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Santos et al. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 359p.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: novembro de 2022.
- Fiorese, C.H.U. 2021. Potencial natural à erosão dos solos da sub-bacia hidrográfica do Córrego da Vista Alegre, no município de Muniz Freire (ES). *Revista Tocantinense de Geografia Araguaína* 10(22) 221-230.
- Francisco, P.R.M. 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Francisco, P.R.M.; Pereira, F.C.; Medeiros, R.M. de; Sá, T.F. de. 2011. Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí-PB. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5 1043-1055.
- Francisco, P.R.M. 2013a. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B. 2017. Modelo para estimativa da vulnerabilidade à desertificação. *Revista Educação Agrícola Superior* 32(2) 37-50.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Chaves, L.H.G.; Lima, E.R.V. de; Silva, B.B. da. 2013b. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Lima, E.R.V. de. 2013. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior* 28(1) 30-35.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Moraes Neto, J.M. de; Lima, V.L.A. de; Barreto, H.T.S. 2019a. Erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Moraes Neto, J.M. de; Lima, V.L.A. de; Barreto, H. T. S. 2019b. Índice de deterioração das terras semiáridas aplicado no mapeamento da bacia do Alto rio Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Oliveira, F.P. de; Santos, D.; Barreto, H.T.S. 2019c. Vulnerabilidade dos solos à desertificação na bacia do Alto rio Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Santos, D.; Matos, R.M. de. 2015. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1006-1016.
- Francisco; P.R.M.; Chaves, I. de B.; Chaves, L.H.G.; Brandão, Z.N.; Lima, E.R.V. de; Silva, B.B. da. 2013. Mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá. *Revista Brasileira de Geografia Física* 6(2) 271-286.
- Francisco; P.R.M.; Santos, D.; Brito, T.P. de. 2022. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo em bacia hidrográfica na região do brejo paraibano. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology* 8(1) 33-42.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2022.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA. Banco de dados geomorfométricos do Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: novembro de 2022.
- Jardim, A.M. da R.F.; Araújo Júnior, G. do N.; Silva, M.J. da; Morais, J.E.F.; Silva, T.G.F. da. 2017. Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 2(3) 186-193.
- Leite Junior, G.P. 1998. Análise da precipitação e da erosividade das chuvas de Patos-PB. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia.

- Leite, J.A. 1979. Características físicas e fator de erodibilidade de quatro solos do município de São Mamede-PB. 97f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Leite, J.A.; Cavalcante, L.F.; Medina, B.F.; Montenegro, J.O. 1982. Fator de erodibilidade de quatro solos do município São Mamede-PB, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 17(2) 319-321.
- Lombardi Neto, F.; Bertoni, J. 1975. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas: Instituto Agrônomo, (Boletim Técnico, 27).
- Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W.C. 1992. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia* 51 189-196.
- Maia Neto, F.F. 1999. Mapeamento da erosividade das chuvas da Paraíba. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Maia Neto, F.F.; Chaves, I.B. 1997. Mapeamento da erosividade das chuvas da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Marques, J.J.G.S.M.; Alvarenga, R.C.; Curi, N.; Santana, D.P.; Silva, M.L.N. 1997a. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 21(3) 427-434.
- Marques, J.J.G.S.M.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Lima, J.M.; Silva, M.L.N.; Sá, M.A.C. de. 1997b. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 21(3) 447-456.
- Nogueira, F.P. 2000. Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz, SP: proposta metodológica. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.
- Oliveira, P.T.S.; Wendland, E.; Nearing, M.A. 2012. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena* 100 139-147.
- Paes-Silva, A.P.; Chaves, I.B.; Sampaio, V.S B. 2003. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude Namorado no Cariri Oriental Paraibano. *Agropecuária Técnica* 24(1) 47-59.
- Panagos, P.; Borrelli, P.; Meusburger, K.; Yu, B.; Klik, A.; Lim, K.J.; Yang, J.E.; Ni, J.; Miao, C.; Chattopadhyay, N.; Sadeghi, S.H.; Hazbavi, Z.; Zabihi, M.; Larionov, G.A.; Krasnov, S.F.; Garobets, A.; Levi, Y.; Erpul, G.; Birkel, C.; Hoyos, N.; Naipal, V.; Oliveira, P.T.S.; Bonilla, C.A.; Meddi, M.; Nel, W.; Dashti, H.; Boni, M.; Diodato, N.; Van Oost, K.; Nearing, M.A.; Ballabio, C. 2017. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports* 7 e4175.
- PARAÍBA. Governo do Estado - Secretaria de Agricultura e Abastecimento – CEPA-PB. 1978. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult Ltda., 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. 2006. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, DF, 112p.
- Pereira, M.R.D.; Santos, A.A. dos; Sousa, S.B. de. 2017. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) na previsão a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Córrego Francisquinha – Porto Nacional – TO. *Revista Tocantinense de Geografia* 6(10) 100-112.
- QGIS. Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- Queiroz, K.B. de; Ribeiro, G. do N.; Francisco, P.R.M.; Silva, V.F.; Santos, D. 2021. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo na bacia hidrográfica do açude do Namorado, Paraíba. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology* 7(3) 36-48.
- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.K.; Yoder, D.C. (Cord.). 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA, (Agriculture Handbook n.703).
- Santos, C.A.G.; Silva, R.M.; Srinivasan, V.S. 2007. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. *Okara* 1(1) 16-32.
- Silva, A.M. da. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. 2008. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil* 8 5-14.
- Silva, A.M.; Schulz, H.E.; Camargo, P.B. 2007. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. 2ª ed. rev. e amp. Editora Rima, São Carlos, 153p.
- Silva, M.L.N.; Curi, N.; Lima, J.M.; Ferreira, M.M. 2000. Avaliação de métodos indiretos de determinação de erodibilidade de latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35(60) 1207-1220.
- Silva, M.L.N.; Freitas, P.L.; Blancaneuax, P.; Curi, N.; Lima, J.M. 1997. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da

- erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 21 131-137.
- Távora, M.R.P.; Silva, J.R.C.; Moreira, E.G.S. 1985. Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba, Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 9 59- 62.
- Trindade, A.L.F.; Oliveira, P.T.S.; Aanche, J.A.A.; Wendland, E. 2016. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(12) 1918-1928.
- Trindade, L. dos S. 2018. Estimativa de perda de solos na bacia hidrográfica do Rio da Dona–BA. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas.
- Valério Filho, M. 1994. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de Bacias Hidrográficas. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. Jaboticabal: Faculdade Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP - Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, p.223-242.
- Varejão-Silva, M.A.; Braga, C.C.; Aguiar M.J.N.; Nietzsche M.H.; Silva, B.B. 1984. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande.
- Viola, M.R.; Avanzi, J.C.; Mello, C.R.; Lima, S.O.; Alves, M.V.G. 2014. Distribuição e potencial das chuvas no Estado do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49(2) 125-135.
- Wischmeier, W.H.; Johnson, C.B.; Cross, B.W. 1971. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* 26(5) 189-193.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Eos, Transaction American Geophysical Union* 39(2) 285-291.
- Yamamoto, J.K.; Landim, P.M.B. 2013. Geoestatística: conceitos e aplicações. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 215p.