

# **Estimativa da Perdas de Solos do Estado da Paraíba e Modelagem da Vulnerabilidade**

**Paulo Roberto Megna Francisco  
Djail Santos**

**Flávio Pereira de Oliveira**

**George do Nascimento Ribeiro**

**Viviane Farias Silva**

**Raimundo Calixto Martins Rodrigues**

**Gypson Dutra Junqueira Ayres**



***Estimativa  
da Perdas de Solos  
do Estado da Paraíba  
e Modelagem da  
Vulnerabilidade***



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Es86 Estimativa da Perdas de Solos do Estado da Paraíba e Modelagem da Vulnerabilidade/Francisco et al.  
 – Campina Grande: EPTEC, 2025.  
 128 f.: il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-01-28815-4

1. Degradação. 2. Risco de erosão. 3. USLE. 4. Geoprocessamento. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Santos, Djail. III. Oliveira, Flávio Pereira de. IV. Ribeiro, George do Nascimento. V. Silva, Viviane Farias. VI. Rodrigues, Raimundo Calixto Martins. VII. Ayres, Gypson Dutra Junqueira. VIII. Título.

CDU 63

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.  
 As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.  
 Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

2025 by Eptec

Copyright © Eptec

Copyright do texto © 2025 Os autores

Copyright da edição © 2025 Eptec

Direitos para esta edição cedidos à Eptec pelos autores.

Open access publication by Eptec

**Créditos das Imagens da capa e dos capítulos**

Pixabay/Freepick

**Editoração, Revisão e Arte da Capa**

Paulo Roberto Megna Francisco

**Conselho Editorial**

Claudiomir Silva Santos (IFSULMINAS)

Djail Santos (CCA-UFPB)

Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)

Flávio Pereira de Oliveira (CCA-UFPB)

George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)

Gypson Dutra Junqueira Ayres (CTRN-UFCG)

João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)

José Nilton Silva (CTRN-UFCG)

José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)

Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)

Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)

Newton Carlos Santos (UFRN)

Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)

Raimundo Calixto Martins Rodrigues (DEAG-UEMA)

Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Viviane Farias Silva (CSTR-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco  
Djail Santos  
Flávio Pereira de Oliveira  
George do Nascimento Ribeiro  
Viviane Farias Silva  
Raimundo Calixto Martins Rodrigues  
Gypson Dutra Junqueira Ayres

# ***Estimativa da Perdas de Solos do Estado da Paraíba e Modelagem da Vulnerabilidade***



1.a Edição  
Campina Grande-PB  
2025

## REALIZAÇÃO



## APOIO





# SUMÁRIO

<b>Introdução</b> .....	7
<b>EUPS</b> .....	9
<b>Fator K - Erodibilidade</b> .....	10
<b>Fator R - Erosividade</b> .....	11
<b>Fator LS - Declividade</b> .....	12
<b>Fator C - Cobertura do Solo</b> .....	13
<b>Fator P - Práticas Conservacionistas</b> .....	14
<b>Potencial Natural a Erosão</b> .....	15
<b>Vulnerabilidade à Erosão</b> .....	16
<b>Modelagem</b> .....	17
<b>Geotecnologias</b> .....	19
<b>Objetivos da Pesquisa</b> .....	21
<b>Caracterização da área de estudo</b> .....	22
<b>Material e Métodos</b> .....	30
<b>Modelagem do Fator R</b> .....	30
<b>Modelagem do Fator K</b> .....	31
<b>Modelagem do Fator LS</b> .....	34
<b>Modelagem do Fator C</b> .....	35
<b>Modelagem do Fator P</b> .....	36
<b>Modelagem da EUPS</b> .....	37
<b>Modelagem do LTP</b> .....	39
<b>Modelagem do PNE</b> .....	40
<b>Modelagem da Vulnerabilidade</b> .....	44
<b>Resultados e Discussão</b> .....	46
<b>Fator LS</b> .....	46
<b>Fator R</b> .....	47
<b>Fator K</b> .....	49
<b>Fator C</b> .....	55
<b>Estatísticas das imagens da Modelagem</b> .....	56
<b>Práticas conservacionistas morro abaixo</b> .....	57
<b>Práticas conservacionistas de plantio em contorno</b> .....	59



<b><i>Práticas conservacionistas com alternância de capinas.....</i></b>	<b><i>61</i></b>
<b><i>Práticas conservacionistas com aplicação de faixas de vegetação permanente.....</i></b>	<b><i>62</i></b>
<b><i>Estatística descritiva .....</i></b>	<b><i>64</i></b>
<b><i>LTP .....</i></b>	<b><i>66</i></b>
<b><i>PNE.....</i></b>	<b><i>72</i></b>
<b><i>Vulnerabilidade.....</i></b>	<b><i>79</i></b>
<b><i>Conclusão .....</i></b>	<b><i>87</i></b>
<b><i>Referências Bibliográficas.....</i></b>	<b><i>89</i></b>
<b><i>Anexos .....</i></b>	<b><i>114</i></b>
<b><i>Curriculum dos Autores .....</i></b>	<b><i>126</i></b>



# 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 degradação ambiental é quase sempre o resultado da pressão excessiva do uso das terras ao longo do tempo e do espaço, acelerando o processo erosivo dos solos. A erosão é um processo natural resultante da ação da chuva e do vento sobre as superfícies continentais. Com intervenções inadequadas das atividades humanas sobre o meio ambiente, como a supressão da cobertura vegetal para a introdução de práticas agrícolas e pecuárias, a exploração de bens minerais e implantação de núcleos urbanos, os processos erosivos se intensificam e passam a comprometer os principais recursos naturais do planeta, em particular, o solo e a água superficial (CARVALHO et al., 2010; RIBEIRO et al., 2009).

Neste sentido, a avaliação do grau (ou do estado) de propensão à degradação ambiental é necessária para estabelecer a magnitude e a extensão do problema, no sentido de despertar a atenção dos órgãos governamentais e a comunidade local; para identificar os impactos da degradação ambiental e compreender a sua natureza e as suas causas; e para definir uma resposta apropriada no planejamento e na seleção de projetos e no estabelecimento de tecnologias para atenuar/suprimir as causas do processo de degradação (KAZMIERCZAK & SEABRA, 2007).

As alterações dos atributos e dos processos do solo durante um longo período de tempo ocasionam a perda da função dos ecossistemas e a produtividade agrícola, gerando uma desordem de modo que a terra não se recupera rapidamente sem auxílio antrópico (PALM et al., 2007; BAI et al., 2008). Por meio dessa modificação de atributos e processos do solo, a sua deterioração prejudica o desenvolvimento sustentável de muitos dos serviços ecossistêmicos (PALM et al., 2007).

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 erosão do solo, particularmente devido à perda de solo, é preocupante face à redução na capacidade produtiva do solo, aumento do assoreamento de recursos hídricos e redução da qualidade da água (CASSOL et al., 2018). A erosão do solo é um indicador da sustentabilidade de agroecossistemas, e mensurá-la contribui para a avaliação da sustentabilidade das propriedades rurais (MARQUES & LOMBARDI NETO, 2003).

Enquanto um processo, por sua natureza, a erosão apresenta uma complexidade peculiar aos fenômenos naturais, uma vez que, depende diretamente dos fatores ligados às características dos solos, à intensidade das chuvas e à presença de cobertura vegetal (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999), variando sua intensidade de acordo com os fatores naturais, das práticas conservacionistas complementares, e da atividade humana (ELTZ et al., 1977).

A ocorrência de processos erosivos é um fenômeno natural que acontece em todos os ecossistemas. Contudo, o risco de degradação do solo em regiões brasileiras é muito mais elevado devido às condições climáticas tropicais dominantes e a susceptibilidade quanto ao potencial de erosividade das chuvas bem como da erodibilidade de alguns dos seus solos (SILVA et al., 2013).

Com práticas inadequadas de atividades antrópicas sobre o meio ambiente, como a supressão da cobertura vegetal para uso agrícola e pecuário, exploração de bens minerais e implantação de núcleos urbanos, os processos erosivos se intensificam e passam a comprometer os principais recursos naturais do planeta, em particular, o solo e a água superficial (CARVALHO et al., 2010; CARVALHO & PINTO, 2010).

A partir do crescente avanço tecnológico em função da elevada necessidade de produção de alimentos e da impossibilidade de cultivar áreas agrícolas sem riscos de erosão, estabeleceu-se um limite tolerável ou aceitável de perdas de solo definido como sendo a intensidade máxima de erosão que ainda permitirá um nível de produtividade economicamente sustentável das culturas (WISCHMEIER & SMITH, 1978).



Nesse sentido, torna-se essencial a utilização de ferramentas e tecnologias que asseguram uma minimização da degradação e que visem à conservação ambiental (WEILER et al., 2021).

## EUPS

Muito utilizada em todo o mundo, a Equação Universal da Perda de Solos (USLE) começou a ser implantada no final da década de 1950 pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos. É um modelo empírico, baseado em grandes bases de dados de campos, que estimam a erosão distribuída e concentrada com base em valores a quatro grandes fatores intervenientes no processo erosivo (WARD & ELLIOT, 1995).

A Equação Universal de Perdas de Solo é um modelo matemático simplificado, que permite estimar a perda média anual de solo de áreas agrícolas provocada pela chuva (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A estimativa de perdas de solo (A) é dada em megagrama por hectare ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); a erosividade da chuva (fator R) é expressa em megajoule por hectare por milímetro ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) e os demais fatores – (K) erodibilidade do solo, (L) comprimento do declive, (S) grau do declive, (C) cobertura ou uso do solo e (P) prática conservacionista – são relações numéricas entre as perdas de solo observadas e as perdas ocorridas para uma condição padrão de determinação (WISCHMEIER & SMITH, 1978; FARINASSO et al., 2012).

Quando se respeita a paisagem natural definida por fatores do meio físico, intervenientes nos processos de erosão, subentende-se que está estabelecida a tendência de ocupação dos solos, podendo determinar os limites potenciais de utilização das terras (MELLO et al., 2006).

A quantificação da perda do solo de uma determinada área, mantida descoberta, é definida pelos produtos dos termos R, K, L e S da USLE. No entanto, a perda pode variar para mais ou para menos, dependendo da variação dos diversos tipos e sequências de culturas sob o solo e práticas conservacionistas (FARINASSO et al., 2006). Há uma grande dificuldade na obtenção deste fator devido ao grande número possibilidades de combinações de práticas de manejo e rotações de culturas, concomitantemente ou separadamente em uma mesma área (DEMARIA & LOMBARDI NETO, 1997).



De acordo com Weiler et al. (2021), inúmeros trabalhos foram desenvolvidos para estimar a perda de solo com base na USLE no Brasil (BRAZ et al., 2014; VOLK & COGO, 2014; GRAÇA et al., 2015; BAGIO et al., 2016; MEDEIROS et al., 2016; SILVA et al., 2017; SCHICK et al., 2017; CASSOL et al., 2018; WEILER et al., 2019; AVANZI et al., 2019).

Várias pesquisas têm sido realizadas ultimamente no Estado da Paraíba quanto a determinação da erosão pela EUPSS ou parte da metodologia em diversas regiões e bacias hidrográficas, como por Albuquerque et al. (2005), Medeiros e Silva (2014), Maranhão e Silva (2014) no Cariri, Xavier et al. (2013) e Dias e Silva (2015) no Litoral, Amaral (2006) em todo o Estado, Sales et al. (2023) no Curimataú, Francisco et al. (2022) na região do Brejo, Gomes et al. (2015) no Agreste.

## **FATOR K - ERODIBILIDADE**

A erodibilidade (Fator K) é uma propriedade do solo resultante da interação entre seus atributos físicos, químicos, mineralógicos e biológicos. Reflete a suscetibilidade que os solos apresentam quando os demais fatores que influenciam a erosão permanecem constantes, sendo influenciada principalmente por aquelas propriedades 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).

O fator K é um atributo complexo e é considerado como a suscetibilidade com que o solo é desagregado por salpicos durante a chuva ou por escoamento superficial ou ambos (RÖMKENS et al., 1997). Este fator é afetado pelas propriedades intrínsecas do solo, como a textura, estabilidade de agregados, resistência ao cisalhamento, capacidade de infiltração de água e demais atributos químicos e orgânicos (BLANCO & LAL, 2008; MORGAN, 2015). Tendo em vista o solo ser responsável pela resistência à erosão, a erodibilidade depende em grande parte também da posição topográfica, declive e da perturbação durante o cultivo (MORGAN, 2015). O estudo da estimativa da erodibilidade tem gerado um amplo interesse nas últimas décadas, e a partir disso, diversos autores têm estudado a obtenção do fator K como Cutillas et al. (2019), Wei e Zhao (2017), Oliveira et al. (2011), Silva et al. (2009), Zhang et al. (2008), Marquez et al. (1997).



É considerado um dos fatores mais significativos para a compreensão do fenômeno erosivo (COUTO, 2015). Métodos indiretos para o cálculo de erodibilidade foram estabelecidas para determinação deste fenômeno nos solos, visto o longo período de tempo necessário para observações em condições naturais (BARBOSA et al., 2019). Dentre os métodos mais utilizadas para determinação indireta da erodibilidade dos solos, tem-se o fator K inserido na equação USLE (DENARDIN, 1990). Esta equação possibilita realizar a previsão de perdas e o reconhecimento dos agentes relevantes causadores da erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Várias pesquisas quanto a erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba vêm sendo realizadas em todas regiões como 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), Francisco et al. (2014), Dias e Silva (2015), Chaves et al. (2015), Amaral (2016), Carvalho et al. (2019), Francisco et al. (2019; 2019b), Nascimento et al. (2019), Queiroz et al. (2021), e por Francisco et al. (2022).

## **FATOR R - EROSIVIDADE**

A erosividade da chuva (Fator R) está relacionada à sua intensidade, duração e frequência de ocorrência. Aumentando a intensidade da chuva aumenta o tamanho médio das gotas, a energia de impacto, bem como, o escoamento, aumentando a energia de transporte (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

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.

## **FATOR LS - DECLIVIDADE**

O fator L (comprimento da encosta) e o fator S (declividade da encosta) representam o efeito da topografia na erosão do solo e geralmente estes fatores são avaliados em conjunto na previsão da erosão e os valores que os constituem podem ser obtidos diretamente no terreno ou a partir da informação altimétrica como curvas de nível ou MDE-Modelo Digital de Elevação (RENARD et al., 1997). Este fator está relacionado ao relevo, que infere na intensidade do escoamento superficial, e por consequência, no grau de perdas de solos (SOUSA & PAULA, 2019).

O fator topográfico LS é constituído por duas variáveis do relevo que modificam a ação erosiva exercida pela água das chuvas sobre os solos: o comprimento das encostas (L) e a declividade das vertentes (S). O aumento do comprimento das encostas acelera a erosão, pois aumenta o volume de água que escoar através de uma seção transversal à vertente e, evidentemente, aumenta a capacidade de remover detritos. Por outro lado, quanto maior o percurso percorrido pela água sobre a superfície, maior sua possibilidade de infiltrar ou evaporar. Por essa razão, a porcentagem de água escoada em relação à precipitada decresce com o aumento do comprimento de rampa (WISCHMEIER & SMITH, 1958; WISCHMEIER, 1959). Por sua vez, com o aumento da declividade das vertentes, cresce a energia da água e, conseqüentemente, sua capacidade erosiva (PARANHOS FILHO et al., 2013).

A declividade do terreno (fator LS) combina os fatores L (função do comprimento de rampa) e S (função da declividade média) sendo adimensional e obtido em relação à parcela padrão (L=25 m, S=9%). O comprimento de rampa é estimado com base na área e no comprimento total de drenagem, enquanto que a declividade de cada quadrícula é calculada com base em sua curva hipsométrica. O fator LS é determinado como fator único pela equação de Bertoni.

Desde o início dos estudos e aplicações da EUPS, o fator em que gerou o maior grau de dificuldade em seu cálculo foi o fator LS, que limitavam as pesquisas em áreas de relevo



complexo, resultando em estimativas equivocadas da erosão do solo. Com o avanço nos estudos, foram desenvolvidas diversas fórmulas de cálculo do fator topográfico (SIMÕES, 2013).

No fator topográfico, o declive é responsável pela maior influência na perda de solo em comparação com o comprimento de rampa. No caso do LS possuir maior valor devido à declividade, na maioria das vezes, há uma proporcionalidade em relação à velocidade de escoamento superficial da água o que resulta em uma maior perda de solo (OLIVEIRA et al., 2010; SIMÕES, 2013).

Para os fatores atuantes no processo erosivo, dois grupos podem ser identificados, fatores que podem e fatores não podem ser facilmente modificados pela atividade humana. Incluídos no segundo grupo está a declividade natural do terreno. Entre aqueles fatores que podem ser controlados pelo homem, estão o comprimento da rampa, cobertura vegetal e práticas de conservação do solo (RISSE et al., 1993).

Quanto a declividade, estudos no Brasil foram realizados por Melo et al. (2021), Oliveira et al. (2016), Damasceno (2014), Coutinho et al. (2014), Paranhas Filho et al. (2013), Guedes et al. (2022). No Estado da Paraíba, quanto a declividade, trabalhos como Francisco (2010); Francisco et al. (2013) vêm estudando sua influência para a mecanização agrícola; na vulnerabilidade Francisco e Chaves (2017) e por Francisco et al. (2013; 2017; 2019).

## **FATOR C – COBERTURA DO SOLO**

O fator C é usado para aferir o efeito das culturas praticadas e das práticas associadas para a sua manutenção nos níveis de erosão do solo, ou seja, está diretamente relacionado ao uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O fator C varia de 0 a 1, onde próximo de zero quando relacionados aos sistemas de manejo conservacionistas, e de um, aos sistemas convencionais e não conservacionistas. O fator cobertura vegetal e manejo tem uma grande amplitude de variação de acordo com a alteração da erosividade e erodibilidade, para cada cultura e tipo de manejo e cultivo do solo. Com isso, se tem grande dificuldade para determinar esse fator devido às várias possibilidades de combinações de erosividades, culturas, sistemas de cultivo e tipos de preparo e manejo, para cada tipo solo (BERTOL et al., 2001).



De acordo com Reining (1992), a cobertura do solo pela vegetação natural ou por cultivos, reduz a perda do solo pela interceptação das gotas da chuva e, conseqüentemente, diminuição de sua energia cinética. O autor afirma que, a cobertura vegetal tem um papel importante no ciclo hidrológico, por reduzir o escoamento superficial e favorecer a infiltração através da cobertura morta e raízes. Assim, sua contribuição na conservação do solo é fundamental. No semiárido, a cobertura vegetal conserva a estrutura e fertilidade do solo, controlando a erosão, conservando a umidade e diminuindo a evapotranspiração das culturas. A cobertura do solo pela vegetação natural ou por cultivos reduz a perda do solo pela interceptação das gotas da chuva e, conseqüentemente, diminuição de sua energia cinética.

A proteção proveniente do dossel da cobertura vegetal depende do tipo de vegetação ou cultivo, da densidade e do estágio de crescimento e desenvolvimento da vegetação ou cultura durante o período de chuvas (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O fator C pode ser estimado a partir dos mapas em formato raster do projeto MapBiomass®, uma iniciativa desenvolvida por uma rede multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia, com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso do solo do Brasil e monitorar as mudanças do território (MAPBIOMASS, 2021).

Diversas pesquisas vem sendo feita em diversas regiões brasileira na utilização do Fator C, como por Paranhos et al. (2003), Ruhoff et al. (2006), Albuquerque et al. (2005).

## **FATOR P – PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS**

O fator prática conservacionista (P), mede a relação entre a perda de solo e determinada prática conservacionista com a correspondente perda quando a cultura está implantada no sentido do declive (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

De acordo com Borges (2009), os fatores C e P podem variar ao longo dos anos como consequência das mudanças na forma e intensidade deste uso e assim, assumir o valor até 1 para solo nu e valores menores que 1 conforme o aumento da cobertura do solo, o que implica menos erosão do solo (PIMENTA, 1998).

O fator P é a relação entre a intensidade esperada de perda de solo com determinada prática conservacionista ou quando a cultura está disposta no sentido do declive. Em área sem



proteção da cobertura vegetal, na maioria das vezes possui maior suscetibilidade à erosão em relação a uma área em que possua recobertura vegetal, o qual seu efeito dependerá do estágio de desenvolvimento da vegetação associada à sequência de culturas e manejo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

Ainda conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010), para as culturas anuais, as práticas conservacionistas mais comuns são o terraceamento, plantio em contorno, plantio em faixas de contorno e alternância de capina. Em áreas onde se é realizado o terraceamento, o comprimento do declive que será utilizado na determinação do valor do fator LS é o intervalo entre terraços. O fator P de uma área terraceada, portanto, terá o mesmo valor do plantio em contorno, sendo que, diminuindo o comprimento do declive, serão reduzidas as perdas de solo pela raiz quadrada do comprimento.

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o fator P (práticas conservacionistas) reflete o efeito destas práticas de conservação do solo, o qual expressa a relação entre a perda de solo com determinada prática, assim como a influência da implantação da cultura no sentido do declive (morro abaixo).

Pesquisa de Albuquerque et al. (2005), realizada em região semiárida para o Fator P foram corroborados com os resultados obtidos por Margolis (1985), Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Silva et al. (1989).

## **POTENCIAL NATURAL A EROSÃO**

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.

De acordo com Oliveira et al. (2015), o PNE corresponde às perdas de solo em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica.



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). 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).

A quantificação e o mapeamento do potencial natural de erosão permitem traçar uma visão sobre os processos erosivos naturais em uma bacia hidrográfica, pois relacionam às características naturais do meio, como as chuvas, o solo e o relevo. Dessa forma, a aplicação de modelos matemáticos capazes de estudar essa dinâmica erosiva, quando associada aos sistemas de informações geográficas, pode servir como ferramenta para o planejamento ambiental (PRESTES & CORRÊA, 2019).

Diversos pesquisadores de diversas regiões como por Weill et al. (2001), Silva (2008), Carvalho et al. (2010), Demarchi (2012), Amaral et al. (2016), Moraes e Sales (2017), Fiorese (2021), 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; e por Francisco et al. (2013d; 2017; 2019) quanto a vulnerabilidade das terras (PNE/LTP).

## **VULNERABILIDADE À EROSÃO**

Vulnerabilidade define o nível em que uma mudança pode prejudicar ou destruir um sistema, esse nível depende tanto da sensibilidade/suscetibilidade, isto é, da reação ou mudança ocorrida com a mínima variação nas condições externas, como da capacidade do sistema em retornar as condições originais após ser afetado por ações de distúrbios externos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O Grau de Vulnerabilidade à Erosão dos Solos (GVES) representa a relação entre PNE/LTP. O modelo proposto é baseado na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), Wischmeier e Smith (1978).

Os índices de tolerância de perda de solo estabelecem limites visando orientar as escolhas técnicas quanto ao uso e manejo do solo. A partir deste princípio, definiu-se o

Potencial Antrópico de Erosão tolerável ou índice CP tolerável (CPT = LTP/PNE), que consiste no valor do Potencial Antrópico de Erosão que mantém a expectativa de perda de solo dentro dos limites dos índices de tolerância (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985).

As áreas vulneráveis à erosão podem apresentar influências de fatores naturais (declividade, cobertura vegetal, tipo do solo) ou de fatores antrópicos (uso do solo) (SILVA et al., 2014; REIS et al., 2017; SILVA et al., 2017).

Atualmente várias pesquisas vêm sendo realizadas como de Nóbrega e Costa (2008), Dornellas et al. (2019), Fantinel e Benedetti (2016), Rios (2011), Mafra et al. (2020), e por Rodrigues et al. (2017).

## **MODELAGEM**

De acordo com Francisco et al. (2013a), modelos relativamente simples podem descrever com certo grau de confiança os processos de degradação ambiental, facilitando a complementação de diagnósticos integrados dos recursos naturais e das suas relações com as atividades humanas. Na atualidade, com a disponibilidade de tecnologias de sensoriamento remoto e de geoinformática, a realização de inventários se tornou mais fáceis e de baixo custo, permitindo, com agilidade, auxiliar o monitoramento e a gestão de amplos territórios (NOVO, 2008; CUNHA et al., 2012; CHAVES et al., 2015).

Em áreas de difícil instrumentalização e monitoramento, a modelagem é capaz de avaliar com relativa precisão os mecanismos controladores dos processos erosivos e estimar a consequente taxa de perda de solo, e torna-se uma poderosa ferramenta de estudo (DORNELLAS et al., 2017).

A aplicação de modelagem matemática e de geoprocessamento na análise de sistemas ambientais são recursos desenvolvidos a muitas décadas, enquadrando-se como procedimentos teóricos no uso de uma abordagem holística, por meio de avaliações quantitativas e qualitativas. A compreensão sobre a interação entre modelagem e o uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG), parte da premissa de que os estudos das séries temporais e das análises espaciais devem acontecer conjuntamente (CHRISTOFOLETTI, 1999).

De acordo com Ferro (2010), vários modelos matemáticos têm sido elaborados e desenvolvidos para estimar a erosão do solo em diferentes escalas espaciais e temporais. Cook (1936) foi um dos primeiros a formular um modelo de erosão, onde os fatores considerados foram erodibilidade do solo, erosividade da chuva e cobertura vegetal. A partir disso, foram adicionados outros fatores aos modelos, com o objetivo de elaborar melhores hipóteses e previsões de um determinado sistema (MATA et al., 2007).

O desenvolvimento da equação que objetivou relacionar matematicamente a erosão do solo com a influência topográfica, foram de autoria de Musgrave (1947), Smith e Whitt (1948) e Wischmeier e Smith (1965; 1978), o qual está integrada ao modelo da EUPS, seguidos por McCool et al. (1987; 1989) responsáveis pela revisão do fator declividade (S), com foco no desenvolvimento de uma equação para declives moderados e outra para declives acentuados, a qual foi integrada à RUSLE (RENARD et al., 1997, GARCIA RODRIGUEZ & SUÁREZ, 2010).

Na utilização de modelos para identificar e quantificar áreas suscetíveis à perda de solos, a USLE demonstra potencial na diferenciação dos potenciais erosivos entre áreas, podendo ser aplicada em nível de bacia hidrográfica, se utilizada de forma espacializada em ferramenta SIG (FREIRE, 2020; WEILER et al., 2019; GOTTSTEIN et al., 2019).

Quanto ao uso de modelos para estimativa e mapeamento das perdas de solos, degradação, deterioração e vulnerabilidade das terras, autores como Chaves (1996), Uhde et al. (2009), Demarchi et al. (2019), Chaves et al. (2013a; 2013b; 2015); Francisco et al. (2013a; 2013b; 2019a; 2019b) e Francisco e Chaves (2017), Queiroz et al. (2021) e Francisco et al. (2022).

Aplicações de modelagem para determinar a erosão dos solos foram aplicados em diversas regiões brasileira por Gomes et al. (2020), Nicolau (2018), Weiler et al. (2021), Demarchi et al. (2019), Reginato et al. (2011), Farinasso et al. (2006), Medeiros e Silva (2014) e por Ferreira e Francisco (2009).

Quanto ao uso de modelos para estimativa e mapeamento da degradação, deterioração e vulnerabilidade das terras de região semiárida, autores como Chaves et al. (2013a; 2013b; 2015); Francisco et al. (2013a; 2013b; 2019a; 2019b) e Francisco e Chaves (2017) têm aplicado ao estudo nas bacias hidrográficas do Rio Taperoá e do Alto Paraíba. Queiroz et al. (2021) e Francisco et al. (2022) avaliaram a vulnerabilidade para as bacias do Açude Namorado e Vaca Brava, região semiárida e do Brejo, respectivamente.

# GEOTECNOLOGIAS

A utilização conjunta com um Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite discretizar espacialmente os fatores que determinam a perda de solo e, conseqüentemente, realizar o cálculo, independente da complexidade espacial dos fatores. Mendonça et al. (2014) afirmam que com o uso de SIG's na aplicação de métodos quantitativos é profundamente facilitada para a EUPS, que permite a análise da perda do solo por erosão laminar; além disto, possibilita a contextualização dos resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras.

O uso de SIG para o cálculo da USLE foram utilizados por Serio et al. (2008) e Lopes et al. (2011) no Estado do Ceará, Valle Junior (2008) e Cecílio et al. (2009) em Minas Gerais, Demarchi (2012), Lourenço et al. (2013), Arraes (2009) em São Paulo, Uhde et al. (2009) e Cardozo et al. (2015) no Rio Grande do Sul, Xavier et al. (2013) e Costa e Silva (2012) no Estado da Paraíba.

Atualmente a geotecnologia destaca-se pela possibilidade de leitura e análise a partir da coleta de informações sobre as características das propriedades e seus recursos, e na atualidade, com o avanço da informática e a disponibilização de programas computacionais para estudos de análise ambiental, a ferramenta tecnológica que mais cresce, está ligada ao geoprocessamento, com a utilização de um sistema de informação geográfica. Tendo em vista a importância da informação espacializada, os programas de SIG estão cada vez mais oferecendo uma maneira rápida para realizar trabalhos visando à gestão dos recursos naturais, sendo um agente facilitador na tomada de decisão (GIANEZINI & SALDIAS, 2010; DUARTE & BARBOSA, 2009; SÁ et al., 2010; SÁ et al., 2012; FRANCISCO et al., 2012).

Na atualidade, com o desenvolvimento das tecnologias de sensoriamento remoto e da geoinformática, as ferramentas para a realização de inventários e diagnósticos ambientais são facilmente disponíveis e de baixo custo permitindo auxiliar com agilidade, o monitoramento e a gestão de amplos territórios (FLORENZANO, 2002; NOVO, 2008). Conforme Francisco et al. (2012), a disponibilização de imagens de satélite em altas resoluções e de programas computacionais para a análise ambiental houve um grande avanço nos estudos relacionados à gestão dos recursos naturais.

Nos últimos anos, há uma demanda crescente por novas tecnologias ecológicas e as séries temporais de uso e cobertura do solo vêm sendo mais utilizadas, em decorrência da possibilidade de identificar e acompanhar as mudanças nos padrões de uso do solo e vegetação, gerando estimativas de desmatamento (SANTOS, 2011).

Atualmente, algumas ferramentas de geotecnologias podem ser acessadas por meio de softwares livres ou plataformas online, em sites e/ou aplicativos. Um dos projetos nacionais no âmbito da classificação da cobertura da superfície terrestre é o Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MAPBIOMAS, 2017a). Nesse contexto o projeto MapBiomass desenvolveu um sistema de validação e refinamento de alertas de desmatamento, degradação e regeneração de vegetação nativa com imagens de alta resolução (MAPBIOMAS, 2019).

Esta iniciativa de monitoramento originou-se em 2015 onde foi desenvolvido um algoritmo de classificação de imagens de satélite, que funciona na plataforma Google Earth Engine que é um ambiente para processamento e análise em escala planetária de dados de monitoramento da superfície terrestre. O projeto Mapbiomas utiliza-se das imagens das missões LANDSAT de observação da terra com satélite, sendo processadas em pixels, que são as unidades de trabalho da ferramenta, disponíveis gratuitamente na plataforma Google Earth Engine. Os dados apresentados pela plataforma de monitoramento ajudam a compreender a evolução da ocupação do território e os impactos sobre os biomas no Brasil para uma série histórica de mais de 30 anos de dados de mapeamento do uso e cobertura da terra para todos os biomas brasileiros (MAPBIOMAS, 2021).

A estratégia de mapeamento inclui o uso dos mais avançados métodos de processamento, tecnologia e big data disponíveis, série temporal LANDSAT, fornecidos pelo Google Earth Engine. Mais especificamente, a iniciativa usa métodos empíricos e estatísticos por exemplo, Random Forest e aprendizado de máquina, para contar o histórico recente de pixels e criar mapas de uso e cobertura da terra (ROSA et al., 2019).

As imagens utilizadas pelo projeto são das séries históricas produzidas pelos satélites LANDSAT (com 30 metros de resolução espacial). Todas as imagens disponíveis no ano são usadas para geração de mosaicos, com as bandas de reflectância, índices espectrais, temporais e de textura. Todo o processamento é feito na nuvem e as classificações supervisionadas são feitas por algoritmos de aprendizagem de máquina na plataforma Google Earth Engine (GORELICK, 2016).

Com o crescente desenvolvimento das aplicações Web destinadas à obtenção e visualização dos dados geoespaciais, bem como a disseminação de bases geográficas, o Projeto

de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil - MapBiomias<sup>®</sup> apresenta uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil (MAPBIOMAS, 2021).

De acordo com Rosa et al. (2019), os produtos e a plataforma do MapBiomias<sup>®</sup> estão sendo utilizados em diversas pesquisas aplicadas, em temas como planejamento do uso do solo, conservação, por Crouzeilles et al. (2019), biodiversidade, Vidal et al. (2019), agricultura e mudanças climáticas, Cohn et al. (2019), estimativas de emissões de gases de efeito estufa pelas mudanças no uso da terra e florestas.

Os estudos da cobertura florestal ou da cobertura e do uso da terra, sua dinâmica e seus impactos vêm sendo estudados nas últimas décadas como exemplo por Fernandes et al. (2015), quanto a região semiárida do Brasil por Silva et al. (2011; 2013; 2014), e por Cunha et al. (2012), tornando-se uma ferramenta aliada para análise do uso da terra, bem como uma alternativa de averiguar grandes extensões e observar os níveis de degradação.

Na avaliação da vegetação semiárida da Paraíba, vários autores vêm estudando como Francisco et al. (2012) na bacia do rio Taperoá, Patrício et al. (2013) em Cabaceiras, Gonçalves et al. (2013a; 2013b) em Soledade, Gonçalves et al. (2014a; 2014b) em Esperança e Sumé, Francisco et al. (2013) e Ribeiro et al. (2013; 2014) em Sumé, Barbosa et al. (2021) em bacia hidrográfica do Alto rio Sucuru.

## **OBJETIVOS DA PESQUISA**

Utilizando-se da fundamentação da pesquisa em erosão representada pelo modelo da Equação Universal de Perdas de Solo, considerando a possibilidade de utilizar as tecnologias disponíveis e de baixo custo da geoinformática e de poder contribuir para a realização de diagnósticos propõe-se neste trabalho para as terras do Estado da Paraíba, modelar e estimar a perda de solos e simular cenários de uso de práticas conservacionistas utilizando técnicas de geoprocessamento.

Propõe-se também neste trabalho avaliar o Grau de Vulnerabilidade à Erosão dos Solos (GVES) do Estado da Paraíba, a partir da razão entre o Potencial Natural de Erosão (PNE) e o Limite de Tolerância de Perdas dos solos (LTP) utilizando técnicas de geoprocessamento para a modelagem dos dados.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km<sup>2</sup> (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. 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) (Figura 1).

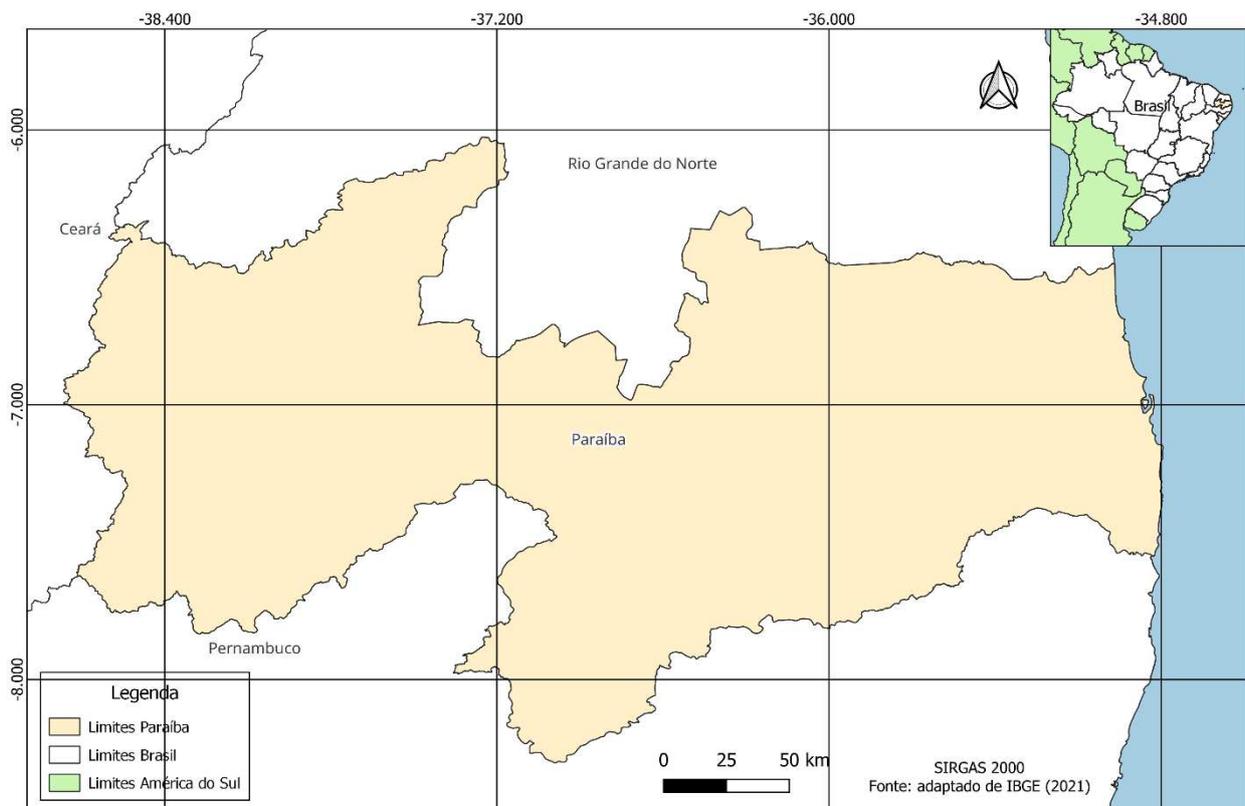


Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: adaptado de IBGE (2021).

O relevo apresenta-se de forma geral bastante diversificado, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas (Figura 2). 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) (Figura 3).

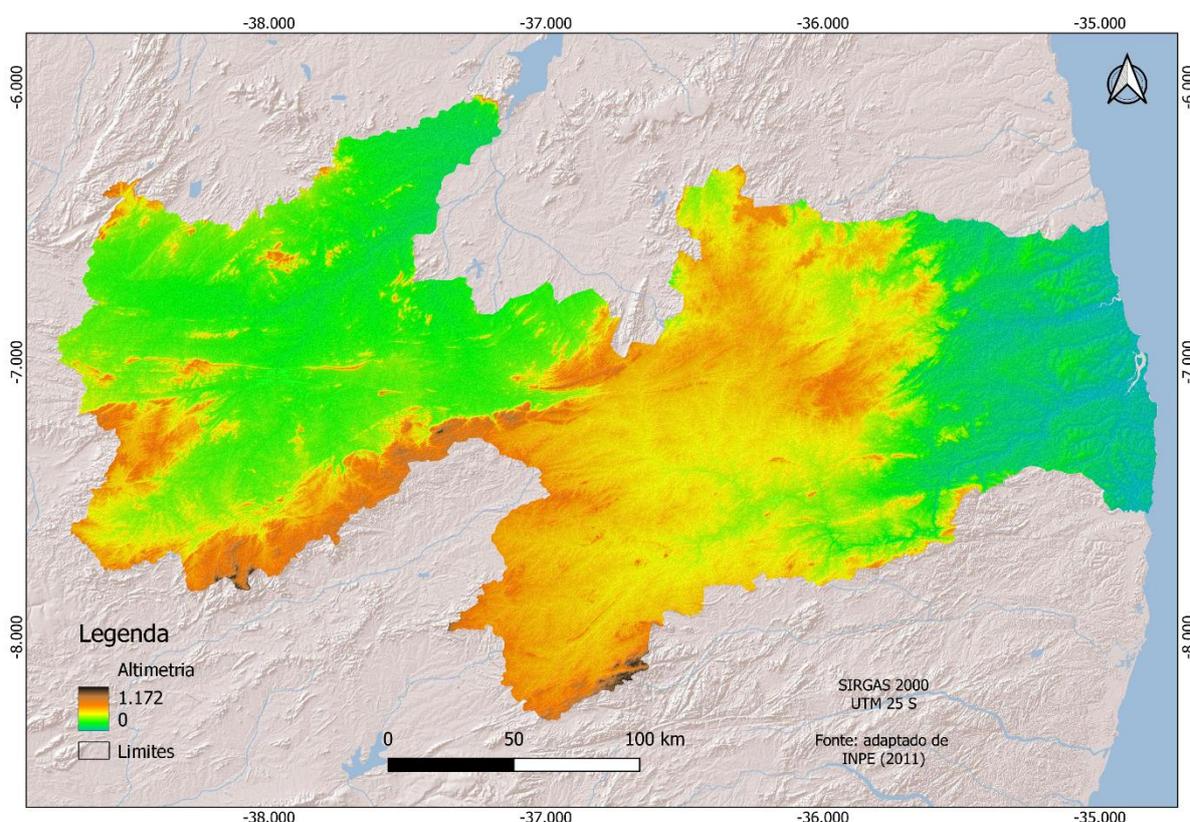


Figura 2. Altimetria do Estado da Paraíba.

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2013); Francisco e Santos (2017); PARAÍBA (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

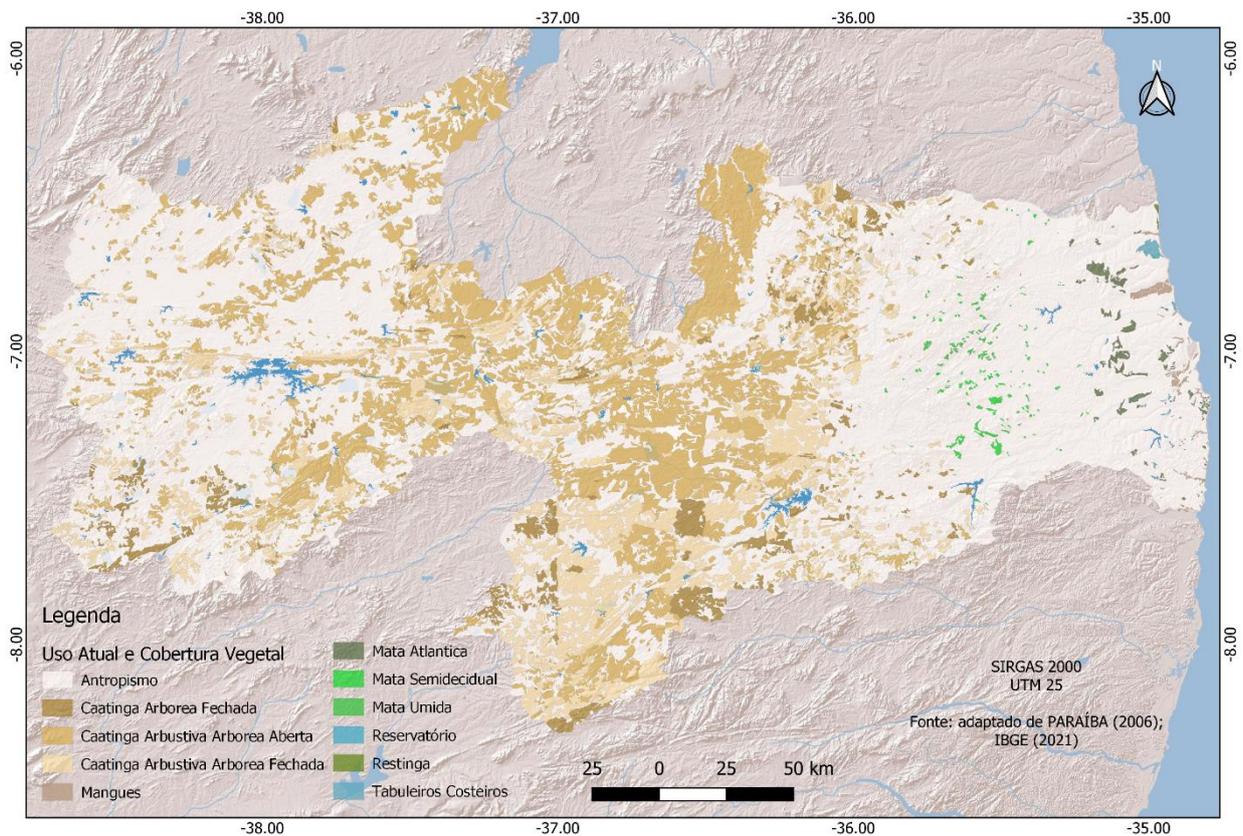


Figura 3. Uso atual e cobertura vegetal.

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

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) (Figura 4). 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 5).

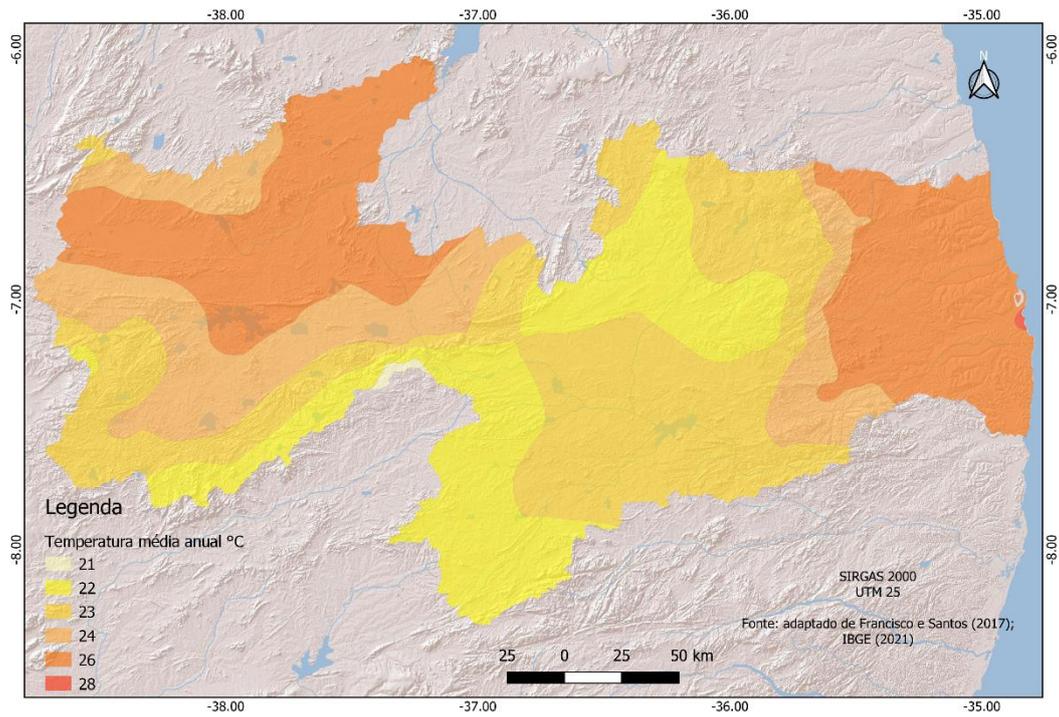


Figura 4. Temperatura anual média.

Fonte: adaptado de Francisco e Santos (2017)

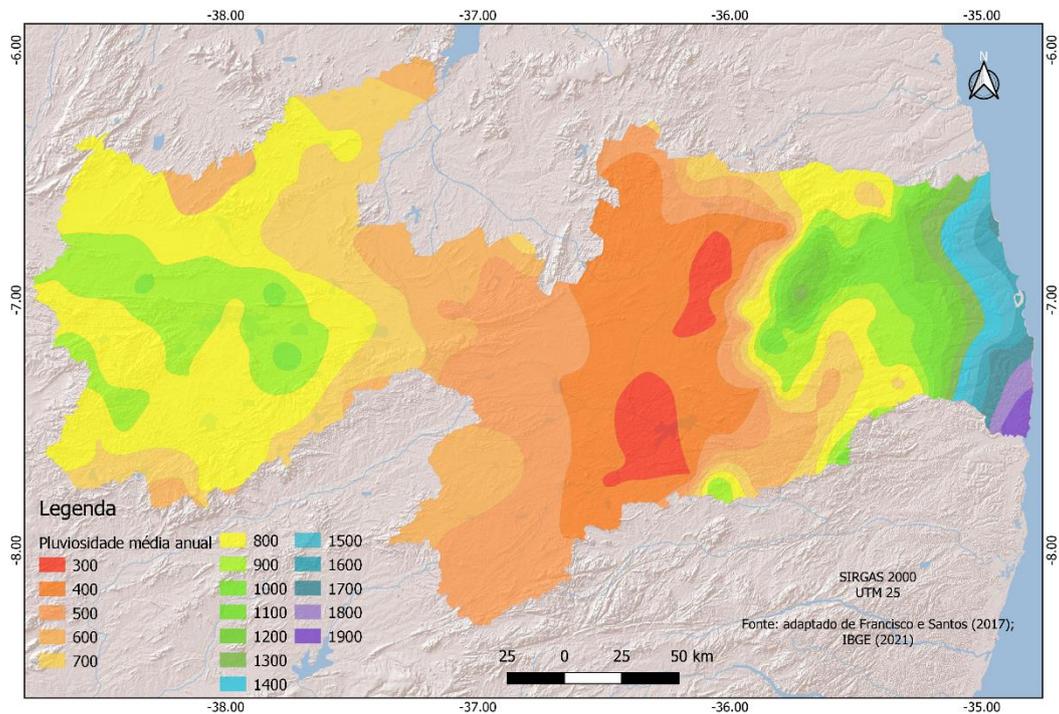


Figura 5. Precipitação média anual.

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2013); Francisco e Santos (2017); PARAÍBA (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

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 (Figura 6).

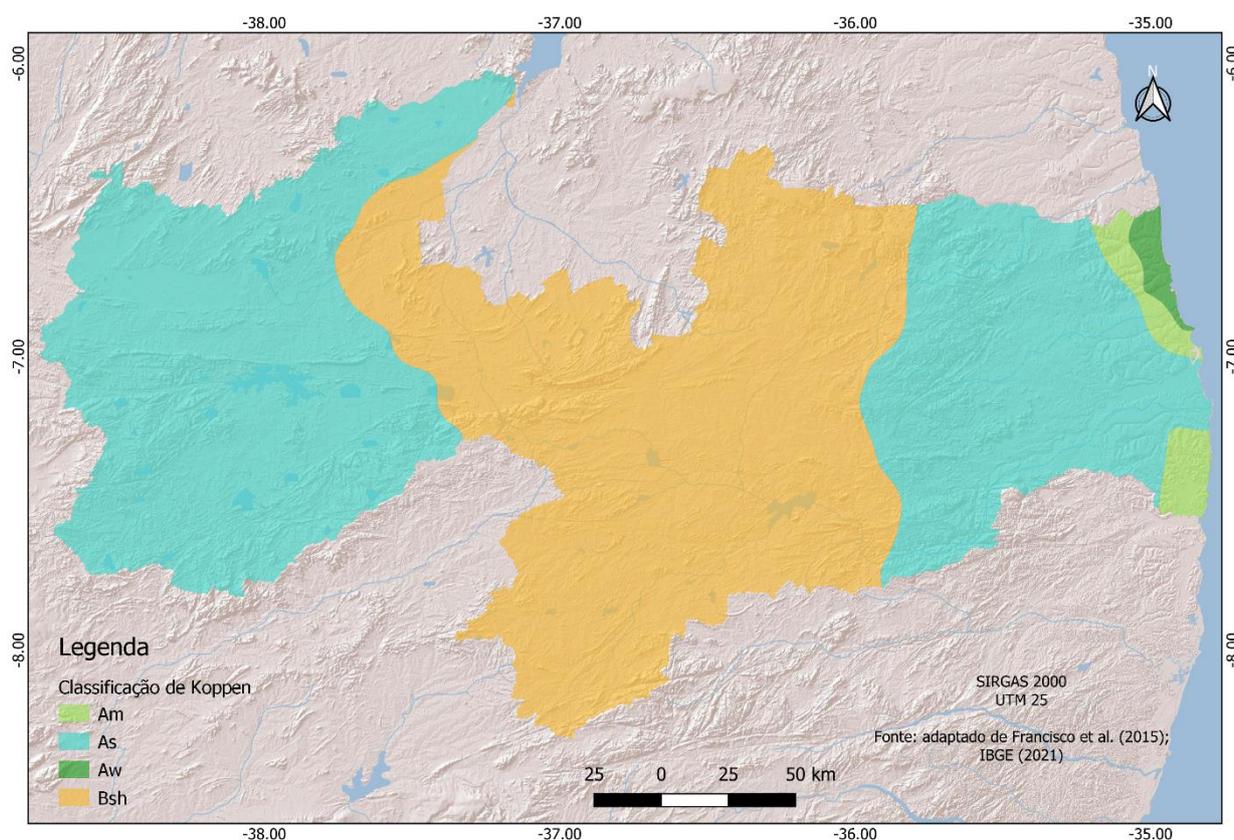


Figura 6. Classificação climática de Köppen.

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2015); IBGE (2021); ESRI (2022).

Para facilitar a espacialização dos dados deste trabalho, são apresentadas as regiões e sub-regiões geográficas do Estado (Figura 7) que guardam uma estreita relação com a ocorrência dos solos e a ocupação e uso das terras. Os dados da Tabela 1 são uma síntese descritiva dos atributos naturais desses espaços geográficos do Estado, extraída de BRASIL (1972), servindo, desta forma, para fundamentar a apresentação e a discussão deste trabalho (FRANCISCO et al., 2012).

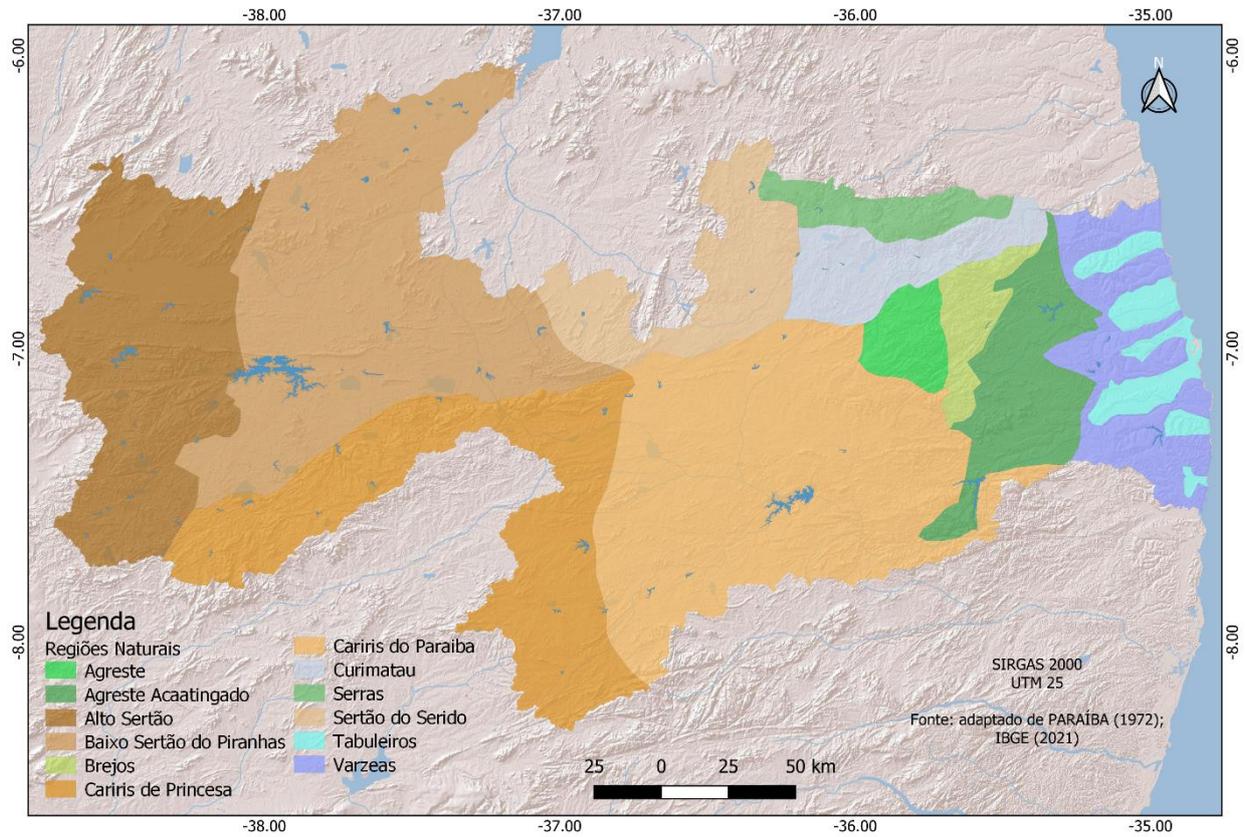


Figura 7. Regiões Naturais do Estado da Paraíba.  
 Fonte: adaptado de Francisco (2010); BRASIL (1972).





# MATERIAL E MÉTODOS

## MODELAGEM DO FATOR R

Para a 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 2, 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. Utilizando o plugin IDW do QGIS® 3.28 foram espacializadas por interpolação por Ponderação Inversa da Distância onde foi gerado arquivo raster da erosividade com pixel de 1 arco (aproximadamente 26,9 x 26,9 m). Para a elaboração do mapa foi utilizado o método discreto para espacialização das classes.

Tabela 2. 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 (1997)
Cariri e Curimataú	Clima Bsh	-	$EI_{30} = 0,382 P^{1,791}$ ( $r^2 = 0,730$ )	Leite Júnior (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).

A Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW) é um dos métodos de interpolação espacial mais utilizados e consiste na média ponderada espacial baseada nos valores dos pontos vizinhos ao ponto em que se deseja interpolar. Assim é possível combinar a mudança gradual no valor estimado de acordo com a distância (BABAK & DEUTSCH, 2009). O método se baseia no valor dos vizinhos e quanto maior a distância de um ponto a ser interpolado, menor será seu peso, i.e., menor será a sua influência no valor do ponto a ser estimado (SILVA et al., 2019). Conforme Lu e Wong (2008) o IDW apresenta-se de acordo com a Equação 1.

$$\hat{y}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i y(S_i) \text{ (Eq.1)}$$

Onde:  $\hat{y}(S_0)$  é o valor que se pretende interpolar em um ponto  $S_0$ , dado os valores observados  $y(S_i)$  nos pontos  $S_i$ , por último, os valores  $\lambda_i$  são os pesos, deve-se observar que  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ . Basicamente o valor a ser estimado em  $\hat{y}(S_0)$  é a combinação linear entre os pesos e os valores nos pontos observados. Estes pesos são definidos de acordo com a Equação 2.

$$\lambda_i = d_{0i}^{-\alpha} / \sum_{i=1}^n d_{0i}^{-\alpha} \text{ (Eq.2)}$$

Onde:  $d_{0i}$  é o inverso da distância entre o ponto a ser estimado e os pontos observados e  $\alpha$  é a potência. Note-se que a potência é um parâmetro deste método e que quanto maior o valor de  $\alpha$ , maior será a contribuição dos pontos mais próximos para o valor estimado  $\hat{y}(S_0)$  e, conseqüentemente, menor será a contribuição dos pontos mais distantes.

## MODELAGEM DO FATOR K

A erodibilidade dos solos (fator 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 elaborada uma planilha no Excel<sup>®</sup> 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 equação 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 3).



$$K=0,00000748 (X_{25}) + 0,00448059 (X_{29}) - 0,06311750 (X_{27}) + 0,01039567 (X_{32}) \text{ (Eq. 3)}$$

Onde: K, é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;  $X_{25}$ , é a variável granulométrica “M”, obtida 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 4.

$$K = 0,00000797 (X_{25}) + 0,0029283 (X_{29}) (r^2 = 0,9561) \text{ (Eq. 4)}$$

A variável “M” é um artifício que exalta a ocorrência das frações granulométricas do solo mais facilmente dispersas e transportadas pela água, especificamente 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 5.

$$M = 640,03 e^{0,0003 M_i} (r^2 = 0,8214) \text{ (Eq. 5)}$$



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 3).

Tabela 3. Correspondência entre classes de drenagem e permeabilidade

<b>Classes de Drenagem</b>	<b>Classes de Permeabilidade</b>
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 para o enquadramento das classes definidas conforme a Tabela 4 expressos em megagrama hora por megajoule milímetro.

Tabela 4. Classes relativos à erodibilidade dos solos

Classes de Risco	Erodibilidade (Mg h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )
Muito Baixa	<0,0145
Baixa	0,0146 -0,0235
Média	0,0236 -0,0280
Alta	0,0281 -0,0325
Muito Alta	>0,0326

Fonte: Chaves et al. (2004).

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.

## MODELAGEM DO FATOR LS

Para elaboração do Fator LS foi adquirido um mosaico digital de elevação (INPE, 2011) e utilizando o software QGIS® 3.28 foi realizado o recorte dos limites através do uso de arquivo *shape* do IBGE (2021), e após elaborado a declividade com pixel de 1 arco (aproximadamente 26,9 x 26,9 m) utilizando o *plugin raster*. O fator declividade (LS) foi calculado através do plugin SAGA® utilizando a equação de Wischmeier e Smith (1978) representada pela Equação 6.

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} x_{i,j}^m (22,13)^m]} \text{ (Eq.6)}$$

Em que:  $L_{i,j}$  - fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j);  $A_{i,j-in}$  - área de contribuição da célula em coordenadas (i,j) (m<sup>2</sup>); D - tamanho da célula; x - coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenadas (i,j); m - coeficiente função da declividade para grade de célula com coordenada (i,j).

Sendo que o coeficiente m é obtido a partir de determinadas classes de declividade: (a) m = 0,5 se declividade for > 5%; (b) m = 0,4 para intervalo de 3 a 5%; (c) m = 0,3 para intervalo de 1 a 3%; e (d) m = 0,2 para declividade < 1%.



$$S = 0,00654.s^2 + 0,0456.s + 0,065 \text{ (Eq.7)}$$

Em que: S - fator de declividade (adimensional); e s - declividade média da vertente (%).

## **MODELAGEM DO FATOR C**

Na elaboração do Fator C, foi obtido no MapBiomass<sup>®</sup> (2022) um mosaico das imagens de cobertura e uso da terra da região de estudo do ano de 2021. Após foi utilizado o QGIS<sup>®</sup> 3.28 para importação dos dados e realizado o recorte da área de estudo utilizando os limites de IBGE (2021) e reclassificado de acordo com a Tabela 5 seguindo a proposta de Wischmeier e Smith (1978), e após gerado arquivo raster com pixel de 1 arco (aproximadamente 26,9 x 26,9 m).

Tabela 5. Parâmetros para estimativa e classificação do Fator C

<b>Classes Cobertura e Uso</b>	<b>Fator C</b>	<b>Fonte de Referência</b>
<b>1. Floresta</b>		
1.1 Formação Florestal	0,001	Pinto (1995)
1.2. Formação Savânica	0,003	Paiva e Paiva (2003)
1.3. Mangue	0,005	Costa et al. (2005)
1.5. Restinga Arborizada	0,0178	Albuquerque et al. (2005)
<b>2. Formação Natural não Florestal</b>		
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	0,001	Costa et al. (2005)
2.2. Formação Campestre	0,005	Silva et al. (2010)
2.3. Apicum	0,001	Costa et al. (2005)
2.4. Afloramento Rochoso	0,001	Ribeiro e Alves (2008)
2.5. Restinga Herbácea	0,011	Paiva e Paiva (2003)
2.6. Outras Formações não Florestais	0,052	Paiva e Paiva (2003)
<b>3. Agropecuária</b>		
3.1. Pastagem	0,016	Bertoni e Lombardi Neto (2005)
3.3. Silvicultura	0,047	Silva et al. (2010)
3.4. Mosaico de Usos	0,100	Margolis et al. (1985)
3.2.1.1. Soja	0,0455	Bertol et al. (2001)
3.2.1.2. Cana	0,050	Vázquez-Fernández (1996)
3.2.1.3. Arroz	0,150	Reining (1992)
3.2.1.4. Algodão	0,0257	Margolis et al. (1985)
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	0,0124	Margolis et al. (1985)
3.2.2.1. Café	0,021	Silva (2007)
3.2.2.2. Citrus	0,020	Machado (2009)
3.2.1.3. Outras Lavouras Perenes	0,020	Brito et al. (1998)
<b>4. Área não Vegetada</b>		
4.1. Praia, Duna e Areal	1	Wischmeier e Smith (1978)
4.2. Área Urbanizada	0	Mata et al. (2007)
4.3. Mineração	1	Stein et al. (1987)
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	1	Ribeiro (2000)
<b>5. Corpo D'água</b>		
5.1. Rio, Lago e Oceano	0	Mata et al. (2007)
5.2. Aquicultura	0	Stein et al. (1987)

Fonte: adaptado de MapBiomias® (2022).

## MODELAGEM DO FATOR P

Os valores do Fator P (Tabela 6) foram utilizados para determinar as práticas conservacionista proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985) e adaptada por Margolis et al. (1985) para as condições semiáridas.



Tabela 6. Parâmetros para estimativa e classificação do Fator P

Prática Conservacionista	Fator P
Plantio morro abaixo	1,00
Plantio em contorno	0,64
Alternância de capinas	0,17
Faixas de vegetação permanente	0,08

Fonte: Margolis et al. (1985).

## MODELAGEM DA EUPS

A estimativa de perda de solo foi obtida através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (Equação 8), que é um modelo de matemático de estimativa da perda de solo, que leva em consideração os fatores como a chuva, erodibilidade, topografia, uso do solo e práticas conservacionistas (WISCHMEIER & SMITH, 1978). No modelo proposto foi realizado 4 repetições alterando-se somente o valor do Fator P (Tabela 7).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot CP \text{ (Eq.8)}$$

Onde: A: quantidade de perda de solo (t/ha/ano); R: fator de erosão pela chuva; K: erodibilidade do solo, sendo a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão de chuva; LS: fator topográfico conjunto de comprimento de rampa e grau de declividade; C: fator de uso e manejo de solo, que é a relação de uma área que é constantemente cultivada e outra que permanece descoberta; P: fator de prática conservacionista, compreendido pela relação entre as perdas do solo de um terreno cultivado com determinada prática.

Para elaboração dos mapas de Perdas de Solo foi classificado conforme a Tabela 7 e os cálculos de área, foi utilizada a calculadora *raster* e o *plugin GRASS® r.report* do QGIS®.

Tabela 7. Classes de perdas de solo

<b>Classes Perda de Solo</b>	<b>t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup></b>
Extremamente Baixa	< 0,25
Muito Baixa	0,25 - 0,5
Baixa	0,5 - 1
Moderadamente Baixa	1 - 2
Moderada	2 - 5
Moderadamente Alta	5 - 10
Média Alta	10 - 50
Alta	50 - 100
Muito Alta	100 - 200
Extremamente Alta	> 200

Para todos os produtos das modelagens elaboradas foi obtido nas imagens *raster* os valores da estatística padrão do QGIS®.

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio® v.2022. Para avaliação foi utilizado a regressão clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 9).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.9)}$$

Onde:  $Y_i$  é uma observação da variável dependente;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  são as variáveis independentes;  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$  são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e  $\varepsilon_i$  é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965), Lilliefors (1967) e Jarque-Bera (1987).



## MODELAGEM DO LTP

Para a elaboração do mapa Limite de Tolerância de Perda (LTP) foi criada uma planilha no Excel<sup>®</sup> em que cada polígono de solo da área de estudo, baseado nas informações contidas nos perfis representativos de BRASIL (1972) (Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba) e PARAÍBA (1978) (Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba), teve calculado pelo método de Smith e Stamey (1964), utilizado por Oliveira et al. (2008), que preconiza uma taxa média anual de perdas (LTP) determinada pela razão entre a profundidade do solo, em milímetros (h), e o período de tempo de desgaste de 1.000 anos.

$$LTP = H \cdot r \cdot d \cdot 1000^{-1} \text{ (Eq. 7)}$$

Sendo: H, profundidade efetiva limitada a 1 metro; r, o gradiente textural entre horizontes B e A, que se menor de 1,5, r igual a 1,0; entre 1,5 e 2,5, r igual a 0,75 e se maior que 2,5, r igual a 0,5; e d, a densidade do solo, estimada pela relação com o C orgânico (DS = 1,660 - 0,318 (%COT) 0,5 (1,36 g/cm<sup>3</sup>) segundo Benites et al. (2007).

Utilizando-se o software QGIS<sup>®</sup> 3.28 foi importado arquivo digital em formato *shape* dos solos da área de estudo na escala de 1:200.000 fornecido pela AESA (PARAÍBA, 2006), representando a área de estudo e a ocorrência e distribuição das classes de solos predominantes no Estado. Em seguida, o mapa de solos foi ajustado seus polígonos interiores levando em consideração a declividade local e realizado o recorte da área de estudo utilizando os limites de IBGE (2021). Após utilizando a tabela de atributos do Sistema de Informação Geográfica, os polígonos dos solos foram classificados com a estimativa obtida do cálculo do Limite de Tolerância de Perda conforme Francisco e Chaves (2017) (Tabela 8).

Tabela 8. Limite de Tolerância de Perda de solos

Classe	Limite de Tolerância de Perdas (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Muito Baixa	0 - 3
Baixa	3 - 6
Média	6 - 9
Alta	9 - 12
Muito Alta	> 12

Fonte: Francisco e Chaves (2017).

## MODELAGEM DO PNE

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<sup>®</sup> 3.28 para importação dos dados e elaboração da declividade utilizando o plugin raster em análise e classificação conforme Francisco et al. (2013) (Tabela 9), 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 9. Parâmetros para classificação dos Fatores R, K, S e PNE

Classes de Risco	Erosividade Fator R (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Erodibilidade Fator K (Mg mm MJ <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Declividade Fator S	PNE (R x K x S) (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
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<sup>®</sup> 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 Mg hMJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; X<sub>25</sub>, é a variável granulométrica “M”, calculada a partir da determinação pelo método da pipeta; X<sub>29</sub>, é a permeabilidade do perfil de solo, codificada conforme Wischmeier et al. (1971); X<sub>27</sub>, é o diâmetro médio ponderado das partículas menores do que 2mm, expresso em mm; X<sub>32</sub>, 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 10).

Tabela 10. Correspondência entre classes de drenagem e permeabilidade

<b>Classes de Drenagem</b>	<b>Classes de Permeabilidade</b>
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 11 expressos em megagrama hora por megajoule milímetro.

Após, utilizando o software QGIS<sup>®</sup> 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 4, 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 11. 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 4.

Para a elaboração do mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE), foi estimado pelo produto dos parâmetros da Equação 5 conforme Francisco e Chaves (2017).

Erosividade da chuva (R) x Erodibilidade do solo (K) x Declividade (S) (Eq. 5)

Para os cálculos foi utilizada uma planilha eletrônica e para a modelagem a linguagem de programação QGIS® 3.28 conforme a Tabela 4.

## MODELAGEM DA VULNERABILIDADE

Para elaboração do Grau de Vulnerabilidade à Erosão dos Solos (GVES) que representa a relação entre PNE/LTP foi ordenado segundo dados da Tabela 12. Para os cálculos e elaboração do mapa foi utilizada a calculadora *raster* e o *plugin r.report* do QGIS® para o cálculo da área.

Tabela 12. Parâmetros para classificação e estimativa

Classes de Risco	Erosividade Fator R (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Erodibilidade Fator K (Mg mm MJ <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Declividade Fator S	PNE (R x K x S) (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	LTP (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	GVES (PNE/LTP)
Muito Baixa	< 2.000	< 0,0145	< 0,273	< 5	0 - 3	0 - 10
Baixa	2.000 - 4.000	0,0145 - 0,0235	< 0,619	5 - 50	3 - 6	10 - 20
Média	4.000 - 6.000	0,0235 - 0,0280	< 1,403	50 - 250	6 - 9	20 - 50
Alta	6.000 - 8.000	0,0280 - 0,0325	< 2,564	250 - 800	9 - 12	50 - 100
Muito Alta	> 8.000	> 0,0325	> 2,564	> 800	> 12	> 100

Fonte: adaptado de Chaves et al. (2004; 2021); Francisco et al. (2013; 2022); Francisco e Chaves (2017); Francisco e Santos (2007).

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio® v.2022. Para avaliação foi utilizado a regressão clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 4).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.4)}$$

Onde:  $Y_i$  é uma observação da variável dependente;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  são as variáveis independentes;  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$  são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e  $\varepsilon_i$  é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965), Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967), Jarque-Bera (1987) e Mann-Kendall (1967; 1945).

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## FATOR LS

Pelos resultados obtidos pode-se observar no mapa do Fator LS (Figura 9) onde os valores da modelagem variam de 0,06 a 7,64 (adimensional), com desvio padrão de a 0,30, em que os menores valores são identificados nas áreas planas e os maiores valores em áreas de maior declividade.

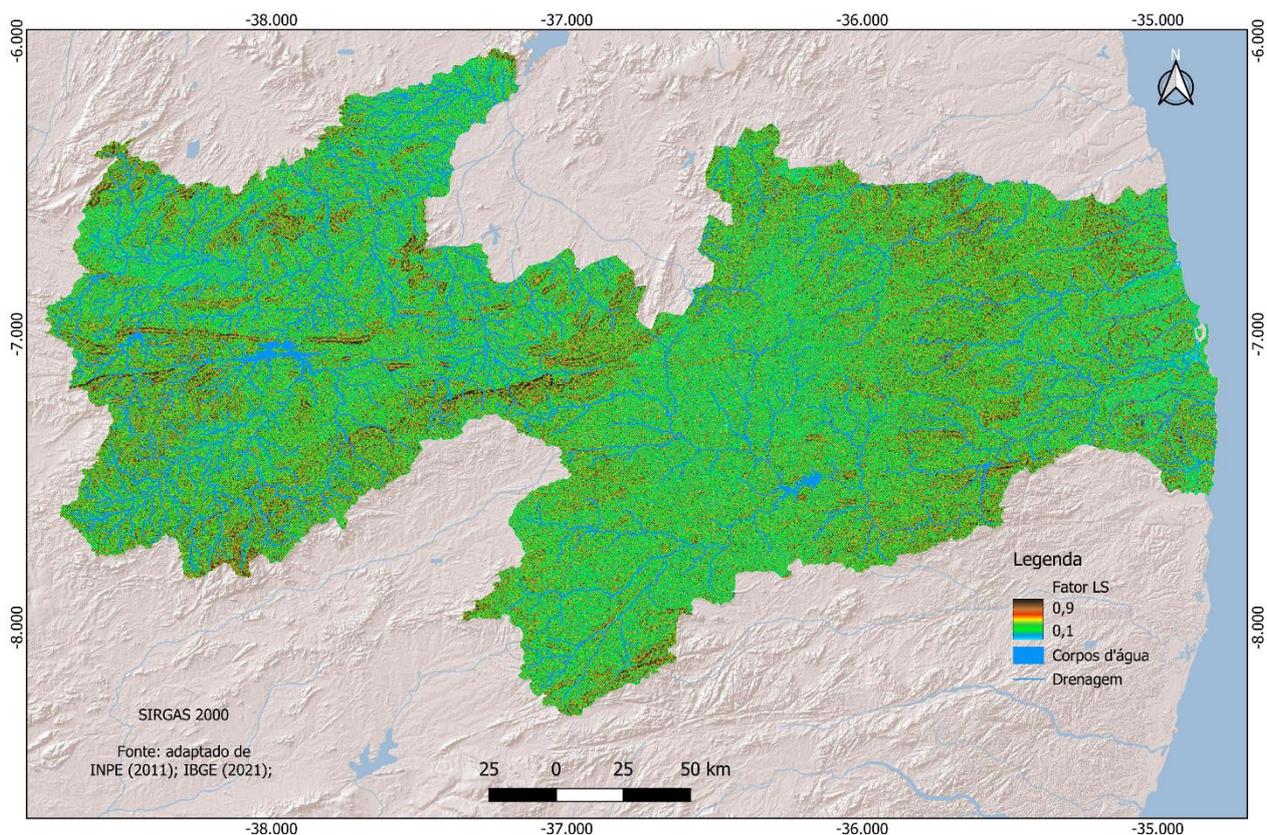


Figura 9. Fator LS.

Fonte: adaptado de INPE (2011); AESA (2021); IBGE (2021); ESRI (2022).

O experimento de Oliveira et al. (2010) consistiu da identificação do fator LS da bacia hidrográfica do Ribeirão Salobra via aplicação do algoritmos de Wischmeier e Smith (1978), onde obteve resultados semelhantes a este trabalho. Silva (2003) utilizando cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Rio Paracatu com o método de Wischmeier e Smith (1978) para o Fator LS onde obtiveram resultados satisfatórios.

## FATOR R

Observa-se no mapa de erosividade média anual (Fator R) (Figura 10), que a classe baixa (<2.000 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h-1.ano<sup>-1</sup>) 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.

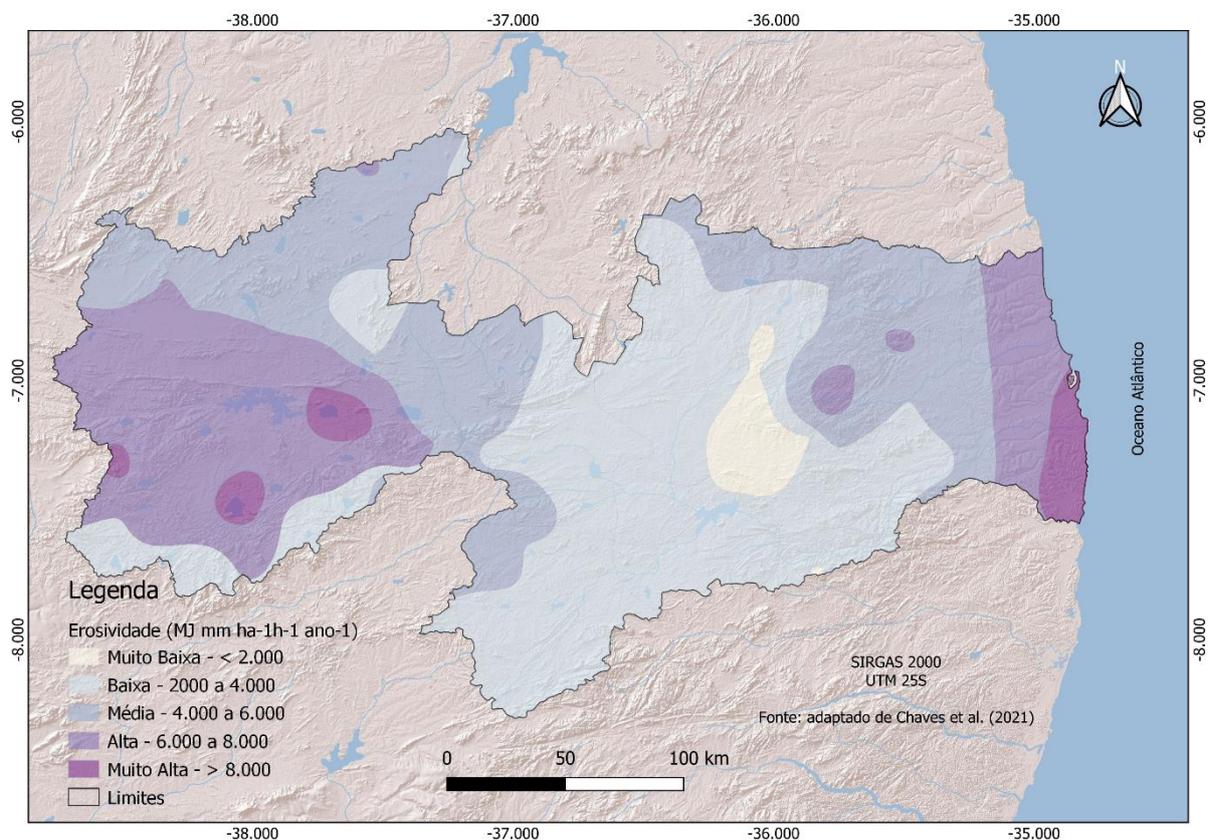


Figura 10. Fator R.

Fonte: adaptado de Chaves et al. (2021); IBGE (2021); ESRI (2022).

A classe baixa de erosividade ( $2.000$  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  $900 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Para o oeste, sobre o Planalto da Borborema, a erosividade aumenta com a altitude e a precipitação está relacionado aos  $500 \text{ mm.ano}^{-1}$ .

Quanto a classe média de erosividade ( $4.000$  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  $700\text{mm}$ . A classe média apresenta-se também no Agreste Acaatingado em menor proporção seguindo a faixa Litorânea.

A classe alta de erosividade ( $6.000$  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  $2.000\text{mm}$ , 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  $1.672$  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.

## FATOR K

Pelos dados obtidos por este trabalho representados pelo mapa de erodibilidade (Figura 11), observa-se que a classe de erodibilidade alta (0,0281 a 0,0325 Mg mm MJ<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) ocupa uma área de 15.204,37 km<sup>2</sup> ou 26,93% do Estado, em que estas terras ocorrem de forma difusa, sendo a segunda maior representação.

Na Tabela 13 são apresentados os valores da erodibilidade dos solos com sua classificação.

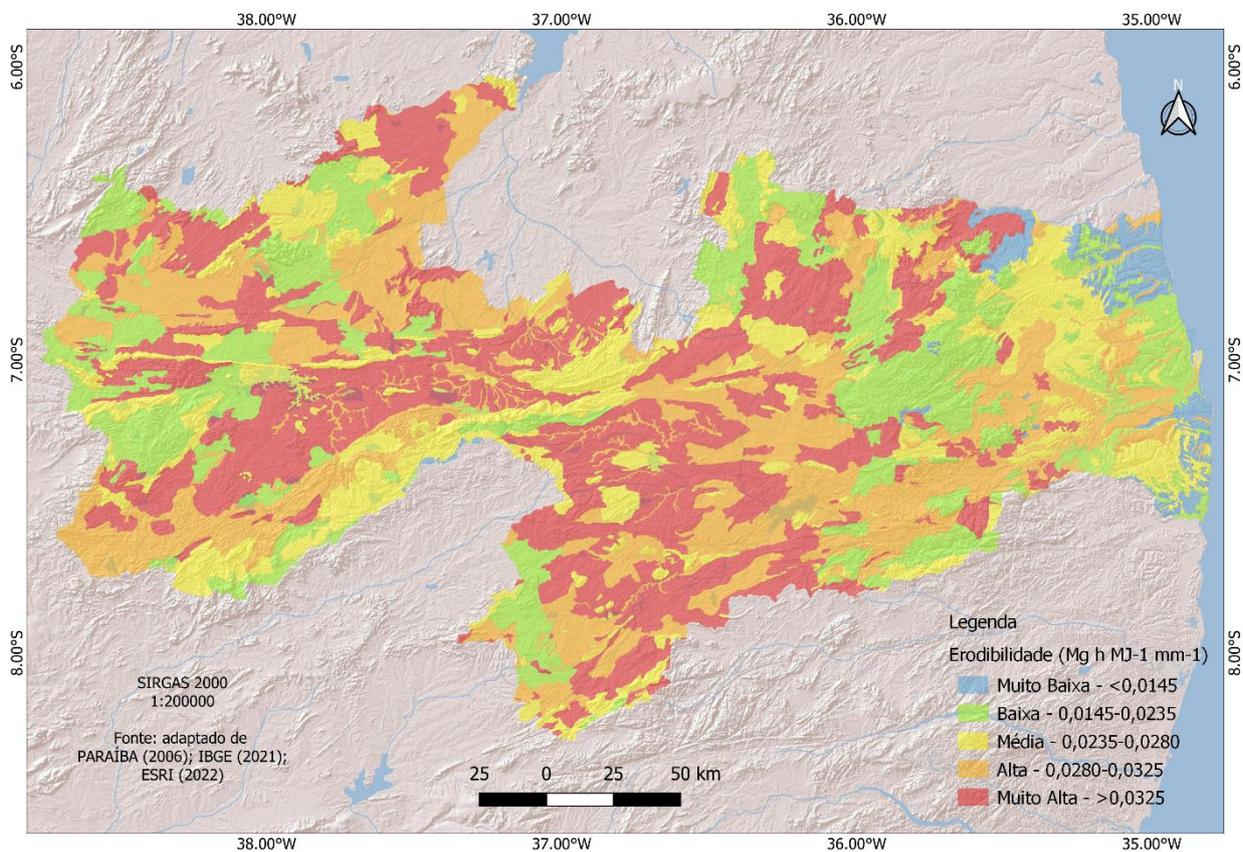


Figura 11. Fator K.

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

Tabela 13. Fator Erodibilidade (K) e respectivas classes de solos representativos do Estado da Paraíba

Município/Amostra	N. do Perfil	Classe de Solos	K (Mg h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	Classe de Erodibilidade
Areia	1*	Latossolos Amarelos – LA	0,0133	Muito Baixa
Litoral	3*	Latossolos Amarelos – LA	0,0192	Baixa
Cuité	4	Latossolos Amarelos – LA	0,0149	Baixa
Araruna	5	Latossolos Amarelos – LA	0,0197	Baixa
Mamanguape	7	Argissolos Acinzentados – PAC	0,0239	Baixa
Natuba	6	Argissolos Amarelos – PA	0,0156	Baixa
Pitimbu	8	Argissolos Amarelos – PA	0,0174	Baixa
Rio Tinto	9	Argissolos Amarelos – PA	0,0197	Baixa
Sapé	10	Argissolos Amarelos – PA	0,0197	Baixa
Pedras de Fogo	11	Argissolos Amarelos – PA	0,0191	Baixa
Sapé	18	Argissolos Amarelos – PA	0,0212	Baixa
Alhandra	3	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,0102	Muito Baixa
Princesa Izabel	12	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,0219	Baixa
Jacaraú	19	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,0275	Média
Areia	20	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,0221	Baixa
Bonito de Santa Fé	13	Argissolos Vermelhos – PV	0,0192	Baixa
Teixeira	15	Argissolos Vermelhos – PV	0,0196	Baixa
Guarabira	21	Argissolos Vermelhos – PV	0,0230	Baixa
Lagoa Seca	22	Argissolos Vermelhos – PV	0,0219	Baixa
Alagoa Grande	23	Argissolos Vermelhos – PV	0,0187	Baixa
Jacaraú	19	Plintossolos Argilúvicos – FT	0,0275	Média
Teixeira	6*	Plintossolos Pétricos – FF	0,0197	Baixa
Pombal	24	Luvissolos Crômicos – TC	0,0264	Média
Monteiro	25	Luvissolos Crômicos – TC	0,0264	Média
Patos	26	Luvissolos Crômicos – TC	0,0264	Média
Solânea	27	Luvissolos Crômicos – TC	0,0459	Muito Alta
Sapé	28	Luvissolos Crômicos – TC	0,0254	Média
Ingá	29	Luvissolos Crômicos – TC	0,0333	Alta
São Miguel de Taipu	30	Luvissolos Crômicos – TC	0,0271	Média
São Mamede	31	Luvissolos Crômicos – TC	0,0383	Muito Alta
Barra de Santa Rosa	32	Luvissolos Crômicos – TC	0,0406	Muito Alta
Cuité	33	Luvissolos Crômicos – TC	0,0378	Muito Alta
Gurinhém	34	Planossolos Háplicos – SX	0,0378	Muito Alta
Tacima	35	Planossolos Háplicos – SX	0,0345	Muito Alta
Tavares	16	Cambissolos Háplicos – CX	0,0226	Baixa
Princesa Izabel	36	Cambissolos Háplicos – CX	0,0204	Baixa
Taperoá	37	Cambissolos Háplicos – CX	0,0221	Baixa
Queimadas	39	Vertissolos Ebânicos – VE	0,0233	Média
Campina Grande	38	Vertissolos Háplicos – VX	0,0247	Média
Souza	40	Vertissolos Háplicos – VX	0,0238	Média
Sumé	41	Vertissolos Háplicos – VX	0,0233	Média
Boqueirão	42	Vertissolos Háplicos – VX	0,0262	Média
Cubati	43	Planossolos Nátricos – SN	0,0298	Alta
Campina Grande	44	Planossolos Nátricos – SN	0,0484	Muito Alta
Uiraúna	45	Planossolos Nátricos – SN	0,0543	Muito Alta
Conde	46	Espodosolos Ferri-humilúvicos – ESK	0,0240	Média
Santa Rita	47	Neossolos Flúvicos – RY	0,0298	Alta
São José de Piranhas	48	Neossolos Litólicos – RL	0,0266	Alta
Santana dos Garrotes	49	Neossolos Litólicos – RL	0,0388	Muito Alta
Picuí	50	Neossolos Litólicos – RL	0,0330	Muito Alta
Umbuzeiro	51	Neossolos Litólicos – RL	0,0145	Muito Baixa
Soledade	53	Neossolos Litólicos – RL	0,0355	Muito Alta
Piancó	56	Neossolos Litólicos – RL	0,0391	Muito Alta
Alagoinhas	59	Neossolos Litólicos – RL	0,0203	Baixa
Araruna	52	Neossolos Regolíticos – RR	0,0226	Baixa
Souza	54	Neossolos Regolíticos – RR	0,0391	Muito Alta
Junco do Seridó	57	Neossolos Regolíticos – RR	0,0319	Alta
Fagundes	58	Neossolos Regolíticos – RR	0,0275	Média
Solânea	60	Neossolos Regolíticos – RR	0,0309	Alta
Livramento	62	Neossolos Regolíticos – RR	0,0239	Média
Teixeira	61	Neossolos Quartzarênicoss – RQ	0,0239	Média
Campina Grande	63	Neossolos Quartzarênicoss – RQ	0,0184	Baixa
Cabedelo	64	Neossolos Quartzarênicoss – RQ	0,0116	Muito Baixa
Conceição	55	Cambissolos Háplicos – CX	0,0288	Alta
Conde	**	Gleissolos Tiomórficos Órticos sálicos - GJ	0,0082	Muito Baixa
Conde	**	Gleissolos - G	0,0228	Baixa
	AR	Afloramentos de Rocha - AR	0,0080	Muito Baixa

Fonte: adaptado de BRASIL (1972); \*PARAÍBA (1978); \*\*EMBRAPA (2017); EMBRAPA (2018).

Consultando a lista dos solos constata-se que, predominantemente, os solos representativos 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 14), 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).

Tabela 14. Área de classes de erodibilidade

<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Muito Baixa	1.531,31	2,71
Baixa	11.500,88	20,37
Média	10.709,90	18,97
Alta	15.204,37	26,93
Muito Alta	17.520,77	31,03
<b>Total</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100,00</b>

Paes-Silva (2002) afirma que, o Luvisolo Crômico vértico é o solo dominante da região semiárida, com sequência de horizontes A fracamente desenvolvido e mudança textural abrupta do A para o Bt vértico que ocorrem nos interflúvios e posições de topo mais rebaixados, com relevo suave ondulado e ondulado.

Existe concordância com Chaves et al. (2004), que encontraram utilizando esta mesma metodologia para os solos de todo o Estado da Paraíba, erodibilidade alta para os Luvisolos. Albuquerque (1997) em Sumé, obteve o valor para o fator K de (0,010 t.ha.h/ha.MJ.mm), onde ocupou uma posição intermediária entre os dois valores obtidos para o solo Bruno Não Cálculo, atual Luvisolos (0,008 e 0,044 t.ha.h/ha.MJ.mm), conforme também relatado por Denardin (1990).

A classe de erodibilidade média (0,0236 a 0,0280Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) com representação em área de 18,97% (10.709,9 km<sup>2</sup>), apresenta a maior diversidade de classes de solos. Estes em Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> estão representados por Argissolos Vermelho-Amarelos localizado na mesorregião da Mata Paraibana (0,0275); Espodossolos Ferri-humilúvicos no litoral (0,0240); Neossolos Regolíticos no Planalto da Borborema (0,0239); Neossolos Quartzarênicos na

mesorregião do sertão (0,0239); Plintossolos Argilúvicos no litoral (0,0275); Vertissolos Ebânicos (0,0233); e por Vertissolos Háplicos nas mesorregiões do sertão da Borborema (0,0262); e por Luvisolos Crômicos distribuídos pela Borborema e Sertão (0,0264).

Resultado similar encontrado por Francisco et al. (2013) em Sumé, onde observaram que a classe de erodibilidade média apresentou uma maior diversidade de classes de solos. Na região sul do Estado, na bacia do Alto Paraíba, Francisco et al. (2019) estimaram erodibilidade média de 0,02 a 0,03 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> representada pelos Neossolos Litólicos e os Luvisolos Crômicos.

Para o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto foram encontrados por Bueno e Stein (2004) e Silva (2008) valores médios semelhantes para os solos do Estado de São Paulo. Francisco et al. (2019) encontraram para estes solos na bacia do Alto curso do rio Paraíba o valor de 0,0226 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

Dias e Silva (2015) estudando os solos do município de Lucena, localizado no litoral, encontraram valores do fator K para o Argissolo Vermelho-Amarelo de 0,032 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, valor próximo a este estudo. Para o Argissolo Vermelho Amarelo Silva et al. (2007) na região do litoral paraibano, obtiveram 0,032 (t ha h/ha MJ mm) e para os atuais Espodossolos Ferri-humilúvicos o valor de 0,021 (t ha h/ha MJ mm), também valores similares a este trabalho.

Valores médios semelhantes foram encontrados por Francisco et al. (2019c) na bacia do Alto curso do rio Paraíba com valor de 0,0290 e 0,0298 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para os Vertissolos e Planossolos, respectivamente, compatíveis com o resultado encontrado neste trabalho.

Leite et al. (1982) avaliando os solos de São Mamede, na mesorregião do sertão, encontraram para os atuais Luvisolos, Argissolos e Neossolos Litólicos os valores de K de 0,029; 0,026 e 0,018 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente, ou seja, resultados similares a este trabalho. Os autores afirmam que para o Argissolo Vermelho, apesar de sua alta infiltrabilidade, o que lhe confere um menor escoamento superficial e, conseqüentemente, menor transporte de solo, apresenta, entretanto, outros fatores que aumentam sua erodibilidade, tais como a baixa percentagem de matéria orgânica, um valor relativamente alto de silte mais areia muito fina. Segundo Leite (1979), estudando o mesmo solo, uma estabilidade de agregados em água de apenas 11%, o que demonstra o seu alto grau de desagregação ou instabilidade em água.

Martins et al. (2011) estimaram para o Plintossolo Háplico localizado na região dos tabuleiros costeiros do Estado do Espírito Santo a erodibilidade de 0,017 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, valores menores comparados a este trabalho. Costa e Silva (2012) encontraram para o

Espodossolo Hidromórfico 0,014 (t.h/MJ.mm); e para o Neossolo Flúvico, Silva (2004) obteve o valor de 0,042 (t.h/MJ.mm).

A classe de erodibilidade baixa (0,0145 a 0,0235 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) com representação em área em 20,37% (11.500,88 km<sup>2</sup>), representado pelos Argissolos Amarelos localizados no litoral (0,0149 a 0,0197), Argissolos Vermelhos no Agreste e Sertão (0,0187 a 0,0230); Cambissolos Háplicos sob o Planalto da Borborema (0,0226), Latossolos Amarelos no Agreste e litoral (0,0149 0,0197).

Resultado similar a este trabalho foram estimados por Queiroz et al. (2021) no município de São João do Cariri para os Cambissolos, com valores inferiores a 0,0198 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. De acordo com Paes-Silva (2002), o Cambissolo Háplico são solos rasos a moderadamente profundos, com textura franca argila arenosa e fraco desenvolvimento estrutural. O baixo gradiente textural e presença de minerais primários no perfil demonstram o seu baixo grau de desenvolvimento pedogenético.

Para os Cambissolos, os valores encontrados por Bertol et al. (2002) foi de 0,011 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e por Silva et al. (2009) de 0,026 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

Chaves et al. (2004) encontraram valores variando de 0,010 a 0,054 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, para o Latossolo e para o Planossolo Nátrico, respectivamente; os autores comentam a obtenção desta amplitude de valores relativamente pequena face à diversidade de solos, material geológico e clima, que ocorrem nas diferentes regiões geográficas do Estado. Por outro lado, dos quatro Planossolos estudados por estes autores, apenas um apresentou erodibilidade média concordando com os resultados deste trabalho.

Silva et al. (1997) obtiveram para os Latossolos o valor de 0,018 t.h.MJ<sup>1</sup>.mm<sup>1</sup>, valores bem próximos aos encontrados por este trabalho. Silva et al. (2000) verificaram que os Latossolos apresentaram valores de erodibilidade entre 0,002 e 0,034 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Nogueira (2000) observou que os valores extremos do fator K foram para Latossolos entre 0,0169 e 0,0298 t.h.h/ha.MJ.mm; Podzólicos entre 0,0265 e 0,0496 t.h.h/ha.MJ.mm; e para os Litólicos entre 0,0442 e 0,0551 t.h.h/ha.MJ.mm.

A classe de erodibilidade muito baixa (< 0,0145 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) com representação em área de 2,71% (1.531,31 km<sup>2</sup>), estes em Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> estão representados pelo Latossolo Amarelo na região do Brejo (0,0133); Argissolo Vermelho Amarelo no litoral (0,0102); Neossolos Quartzarênico no litoral (0,0116); e pelo Gleissolo Tiomórfico Órtico sálico no Litoral (0,0082).

Por este trabalho os solos Indiscriminados de Mangue atuais Gleissolos Tiomórficos Órticos sálicos apresenta  $0,0082 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , no entanto Carvalho Júnior et al. (2009) obteve o valor de  $0,015 \text{ (t.h/MJ.mm)}$ . Távora et al. (1985) obtiveram para os Neossolos Quartzarênicos Marinhos Distróficos  $0,020 \text{ (t.h/MJ.mm)}$ .

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 em  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  estão representados pelos Luvisolos Crômicos distribuídos no Planalto da Borborema e Sertão ( $0,0378$ - $0,0459$ ); Planossolos Háplicos e Planossolos Nátricos no Sertão ( $0,0378$  e  $0,0543$ , respectivamente); e pelos Neossolos Litólicos e Regolíticos no Sertão ( $0,0330$  e  $0,0391$ , respectivamente).

Chaves et al. (2004) obtiveram para os Planossolos, Solonetz Solodizados, seguido dos Bruno Não-Cálcicos (solos com B textural e forte gradiente textural) valores de K onde apresentaram susceptibilidade a erosão muito alta e alta, seguidos dos Litólicos, de média a alta; Vertissolos, Podzol Hidromórfico, Aluvial e Regossolos, com susceptibilidade média; Podzólicos, baixa a média; Terra Raxa e Cambisol, baixa; e Latossolos e Areia Quartzosa, muito baixa a baixa. Resultado similar a este estudo. Os autores afirmam que o parâmetro composto por Profundidade Efetiva e Gradiente Textural foram os mais relacionados a permeabilidade do solo e que explicou  $36,7\%$  das variações da erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba. Situação similar observada neste trabalho com os dados das análises físicas e químicas obtidas nos Boletins de Solos.

Conforme levantamento realizado por Denardin (1990) e Silva et al. (2000; 2009), a erodibilidade de solos com horizonte B latossólico variaram  $0,002$ - $0,034 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , enquanto os solos que possuem horizonte B textural (Argissolos, Luvisolos, B nítico e B plânico) avaliados por Denardin (1990) e Marques et al. (1997a; 1997b) variaram  $0,004$ - $0,045 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ .

Mendonça (2005) estimando a erodibilidade dos solos no município de Sapé, na Microbacia do Riacho Una, obteve valores em  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , para os Neossolos e Luvisolos de  $0,031$ ; para os Neossolos Flúvicos  $0,040$ ; Neossolos Quartzarênicos de  $0,020$ ; Espodossolo  $0,030$ ; Argissolo Amarelo de  $0,036$ ; e para o Argissolo Vermelho Amarelo de  $0,024$ , todas as classes de solos com resultados similares a este trabalho.

A erodibilidade do solo é um dos fatores mais importantes nos estudos de erosão do solo. Guerra e Cunha (2011) afirmam que, a erodibilidade é a susceptibilidade que os solos têm em ser erodidos, influenciando na maior ou menor erodibilidade.

Em relação à granulometria, estudos realizados por Lemos e Lutz (1957) mostraram que a erodibilidade do solo tende a aumentar quando os teores de silte e areia fina são altos, e a diminuir com a elevação dos teores de argila e matéria orgânica. Para Resende (1985), o solo mais resistente à erosão é aquele que apresenta a melhor combinação dos fatores permeabilidade e coesão entre partículas e/ou agregados. Isso permite uma permeabilidade suficientemente alta para reduzir a enxurrada a valores razoáveis e agregados pequenos o bastante para não favorecer a remoção excessiva dos mesmos por salpicamento e arraste.

## **FATOR C**

O Fator C (Figura 12) apresenta os menores valores de cobertura do solo (adimensional) de até 0,005 para as Formações Florestal, Savânica e Campestre com a frequência de aproximadamente 375.000 pixels, seguida de valores de 0,01 representando Mosaico de usos e lavouras temporárias com frequência de 135.000 pixels, e por Lavouras Perenes com valores de 0,02. Francisco et al. (2022) utilizou os dados do MapBiomas em avaliação temporal em região semiárida e obteve resultados satisfatórios. Quanto aos valores de referência de práticas conservacionistas (Fator P), diversos autores determinaram como Bertoni e Lombardi Neto (2005) e Margolis et al. (1985) para a região semiárida, ambos com resultados satisfatórios.

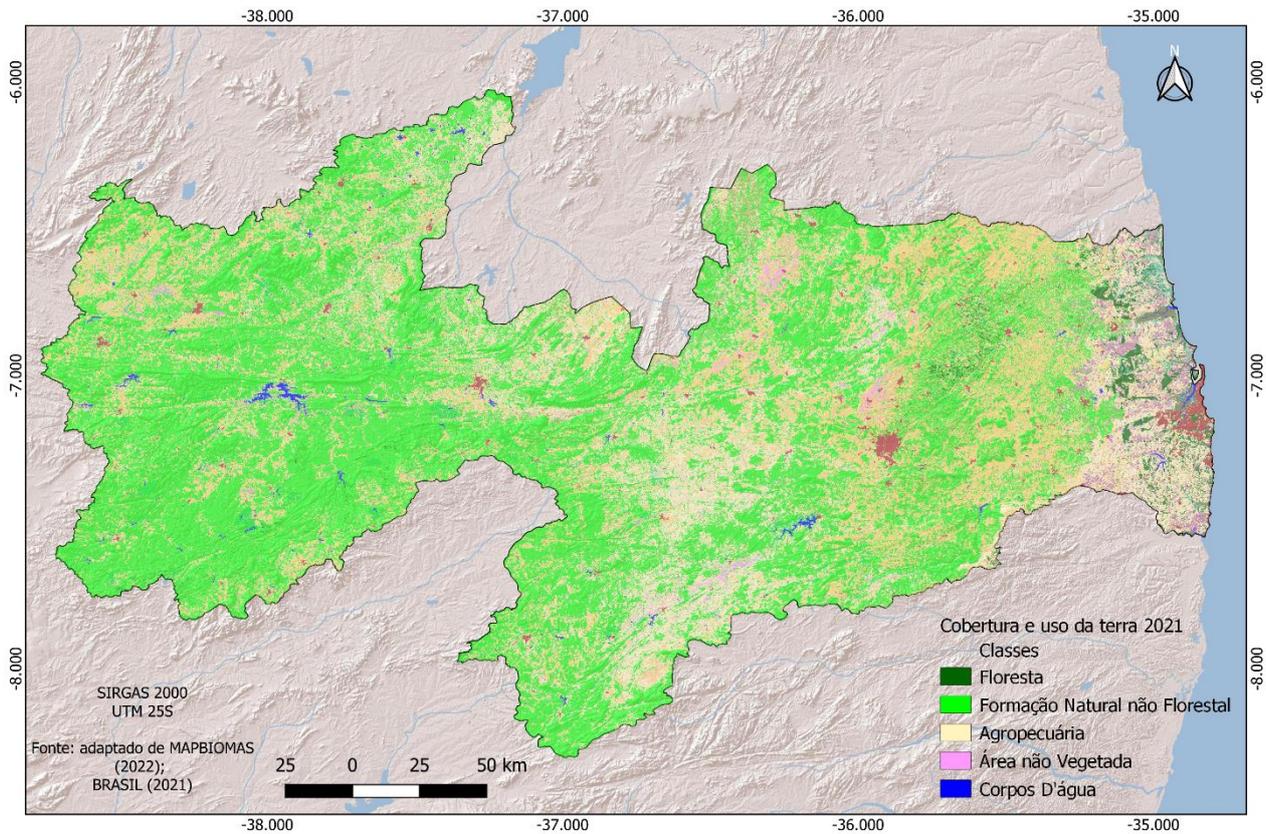


Figura 12. Fator C.

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

## ESTATÍSTICAS DAS IMAGENS DA MODELAGEM

Nos histogramas das imagens modeladas dos Fatores R e LS (Figura 12a e 12b) verifica-se que a frequência do Fator LS encontra-se em sua maioria entre os valores 0,2 e 0,4 com frequência máxima de 27.000 pixels (Tabela 15). O Fator R apresenta a maiores valores de erosividade entre 2.700 a 3.700 ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) com frequência máxima de até 3.500 pixels. Estes resultados refletem na somatória das classes desses fatores em área.

Tabela 15. Dados estatísticos adimensionais das imagens produto da modelagem

Produto Modelagem	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Fator R (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	1.460,43	3.399,86	6.190,70	913,03
Fator C (adimensional)	0	0,04	1,00	0,11
Fator K (Mg h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	0	0,03	0,06	0,01
Fator LS (adimensional)	0,06	0,45	7,64	0,30
USLE (P = 1,00) (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	0	1,42	262,00	4,85
USLE (P = 0,64) (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	0	0,91	193,30	3,12
USLE (P = 0,18) (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	0	0,24	51,35	0,83
USLE (P = 0,07) (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	0	0,11	24,16	0,39

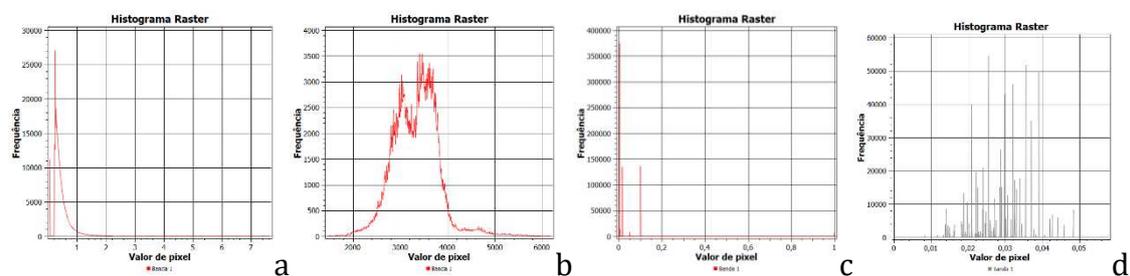


Figura 13. Histogramas das imagens da modelagem dos fatores (a) LS; (b) R; (c) C; (d) K.

## PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS MORRO ABAIXO

No mapa de perda de solos com práticas conservacionistas de plantio morro abaixo (P = 1) (Figura 14), neste cenário as classes de perdas de solo extremamente baixa, muito baixa e baixa (<0,25 a 1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) representam 76,5% (43.196,98 km<sup>2</sup>) da área (Tabela 16), estão distribuídas por toda a área notadamente em declividade plana a suave ondulada (Fator LS), com maior cobertura de vegetação (Fator C), em solos com menor erodibilidade (Fator K).

As classes moderadamente baixa, moderada e moderadamente alta (1 a 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) perfazem um total de 12.286,68 km<sup>2</sup> (21,76%) e estão localizadas na faixa litorânea, em região plana a suave ondulada (Fator LS), sob solos mais profundos, no entanto com ocorrência de maior erosividade (Fator R) promovida pelas chuvas mais intensas, na região litorânea ocorre o plantio de cana de açúcar que apresenta valores de perdas de até 1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; estas classes também ocorrem sob o Planalto da Borborema na região de Cabaceiras, com menor ocorrência de chuvas e conseqüentemente menor erosividade (Fator R), mas em solos com potencial maior de erodibilidade (Fator K), notadamente sob Neossolos Litólicos e

os Luvissoles; e sob a região do Sertão, no município de São João do Rio do Peixe, com as mesmas características quanto aos solos e a cobertura (Fator C) com valores mais baixos devido a presença mais rala.

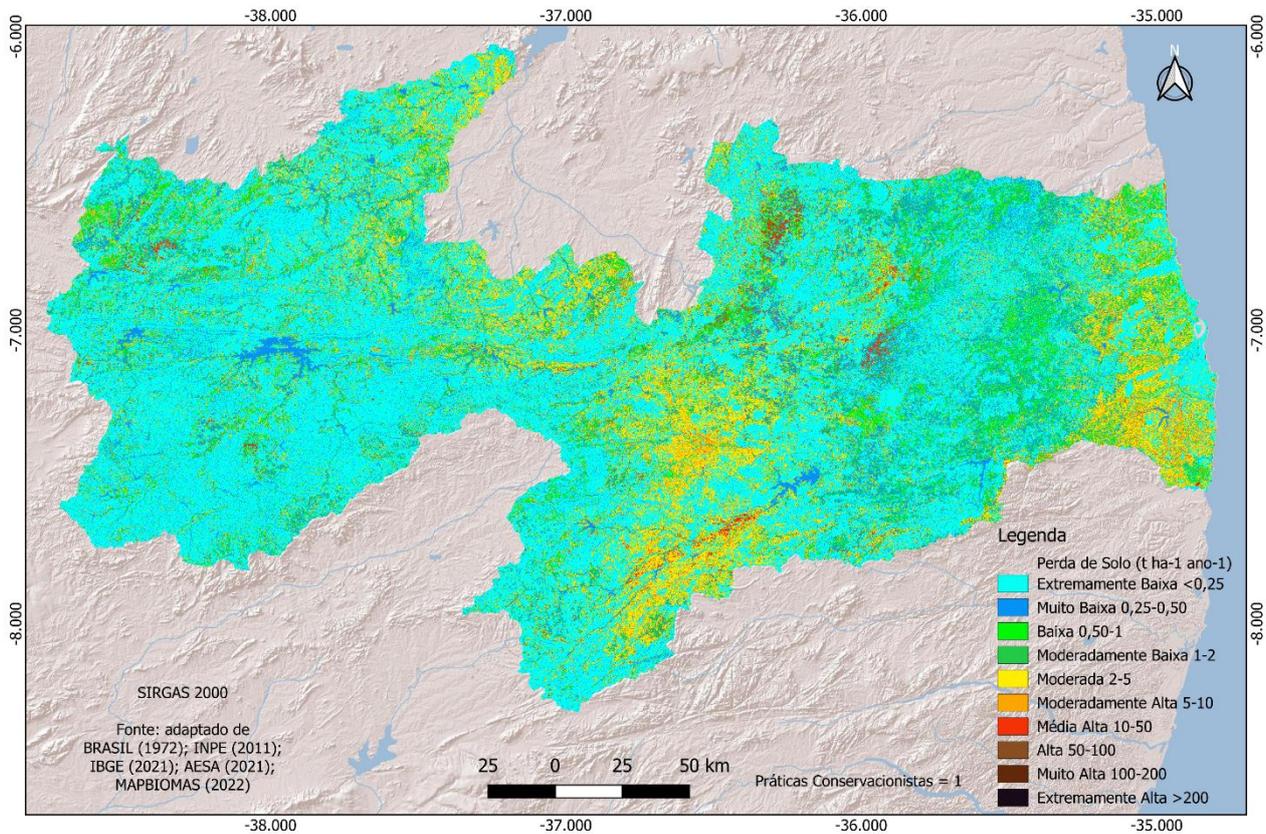


Figura 14. Perda de solos do Estado da Paraíba com práticas conservacionistas de plantio morro abaixo (P=1).

Fonte: adaptado de BRASIL (1972); INPE (2011); AESA (2021); IBGE (2021); MAPBIOMAS (2022); ESRI (2022).

As classes média alta, alta, muito alta e extremamente alta ( $10$  a  $> 200$   $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) ocorrem em 1,74% da área ( $983,58\ km^2$ ) notadamente em relevo acima de 40% de declividade, poucos profundos e com menor cobertura do solo (Fator C) como se observa na região do Seridó, notadamente em Picuí, sob solos rasos e com menor cobertura em áreas de pastagens e em solos desnudos, onde apresenta os valores de perdas de solos mais extremos em toda a área.

O fator C é considerado de extrema importância, por ter condições de alterações, que auxiliam na redução da erosão (RENARD et al., 1991).

Tabela 16. Perda anual de solo para as práticas modeladas

Classes	Perda de Solo (t.ano <sup>-1</sup> )	Práticas Conservacionistas							
		P = 1		P = 0,64		P = 0,17		P = 0,08	
		Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Extremamente Baixa	<0,25	31.082,91	55,05	35.345,99	62,60	44.484,57	78,78	49.668,82	87,96
Muito Baixa	0,25-0,5	6.981,80	12,36	6.605,37	11,70	4.565,63	8,09	4.748,77	8,41
Baixa	0,5-1	5.132,28	9,09	2.740,32	4,85	5.133,60	9,09	1.271,86	2,25
Moderadamente Baixa	1-2	2.603,63	4,61	4.977,14	8,81	1.461,29	2,59	337,91	0,60
Moderada	2-5	7.604,16	13,47	5.397,61	9,56	476,73	0,84	377,35	0,67
Moderadamente Alta	5-10	2.078,89	3,68	746,21	1,32	271,59	0,48	56,57	0,10
Alta	10-50	871,77	1,54	622,03	1,10	73,78	0,13	5,97	0,01
Média Alta	50-100	97,65	0,17	30,45	0,05	0,05	-	-	-
Muito Alta	100-200	13,61	0,02	2,10	-	-	-	-	-
Extremamente Alta	>200	0,55	0,001	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>		<b>56.467,24</b>	<b>100</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100</b>

Cabe salientar que, esses resultados são uma estimativa do potencial de perdas de solo que ocorre na área de estudo e não um valor absoluto da produção de sedimentos.

De acordo com Cardozo et al. (2015), o fator práticas conservacionistas (P) é a relação entre a intensidade esperada de perda do solo com adoção de determinada prática e aquela quando a atividade se dá no sentido do declive. Observa-se por este trabalho que, quando a prática conservacionista (P = 1) de morro abaixo ser praticada, ocorrerá perdas de solos maiores, ocasionando maior propensão à deterioração dos solos.

Conforme Sales et al. (2023), diante das estimativas de perda de solo estarem acima dos níveis de tolerância deve-se propor a orientação aos proprietários rurais a utilização de técnicas conservacionistas, como o plantio em nível, o terraceamento, a cobertura do solo no plantio, o plantio direto, além da preservação de áreas com alta inclinações, o que pode contribuir significativamente na diminuição das perdas de solo.

## PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DE PLANTIO EM CONTORNO

De acordo com o mapa de perda de solos modelado para previsão de práticas conservacionistas de plantio em contorno (P = 0,64) (Figura 15), neste cenário observa-se que as classes extremamente baixa, muito baixa e baixa (<0,25 a 1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) estão distribuídas em 44.690,68 km<sup>2</sup> (79,15%); as classes moderadamente baixa, moderada e moderadamente alta (1 a 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) com representação de 19,69% do total apresentam-se distribuídas em 11.120,96 km<sup>2</sup>; as classes média alta, alta, muito alta e extremamente alta (10 a >200 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) representam somente 1,16% (654,60 km<sup>2</sup>).

Observa-se que as ocorrências são similares a modelagem de práticas conservacionistas de  $P = 1$  de morro abaixo, diferenciando-se que nesta simulação de  $P = 0,64$  as áreas somente 2,64% de todo o Estado em 1.493,82 km<sup>2</sup> notadamente sob o Planalto da Borborema e no Sertão onde os solos são menos profundos e a cobertura tem maior influência quanto a erosividade destes.

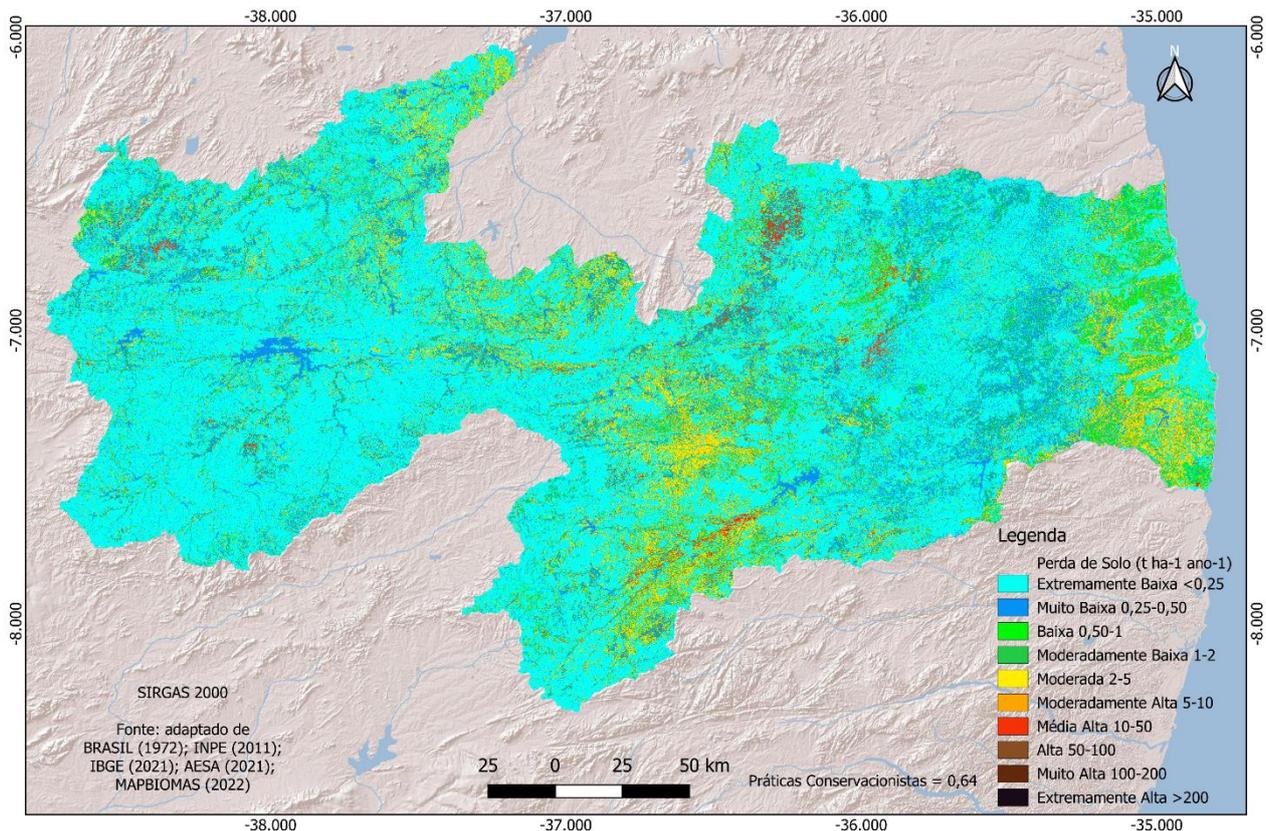


Figura 15. Perda de solos do Estado da Paraíba com práticas conservacionistas de plantio em contorno ( $P=0,64$ ).

Fonte: adaptado de BRASIL (1972); INPE (2011); AESA (2021); IBGE (2021); MAPBIOMAS (2022); ESRI (2022).

## PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS COM ALTERNÂNCIA DE CAPINAS

Conforme o mapa de perda de solos para previsão de práticas conservacionistas de alternância de capinas ( $P = 0,17$ ) (Figura 16), nesta modelagem observa-se que as classes extremamente baixa, muito baixa e baixa ( $<0,25$  a  $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) estão distribuídas em  $54.183,80 \text{ km}^2$  (95,96%); as classes moderadamente baixa, moderada e moderadamente alta ( $1$  a  $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) com representação de 3,91% do total apresentam-se distribuídas em  $2.209,61 \text{ km}^2$ , observa-se que estas áreas apresentam-se desnudos quanto ao Fator C de cobertura localizadas nos municípios de Puxinnã, Montadas, Areial e Esperança, sob Neossolos Regolíticos, mais arenosos; as classes média alta, alta, muito alta e extremamente alta ( $0$  a  $>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) representam somente em 0,13% ( $73,83 \text{ km}^2$ ).

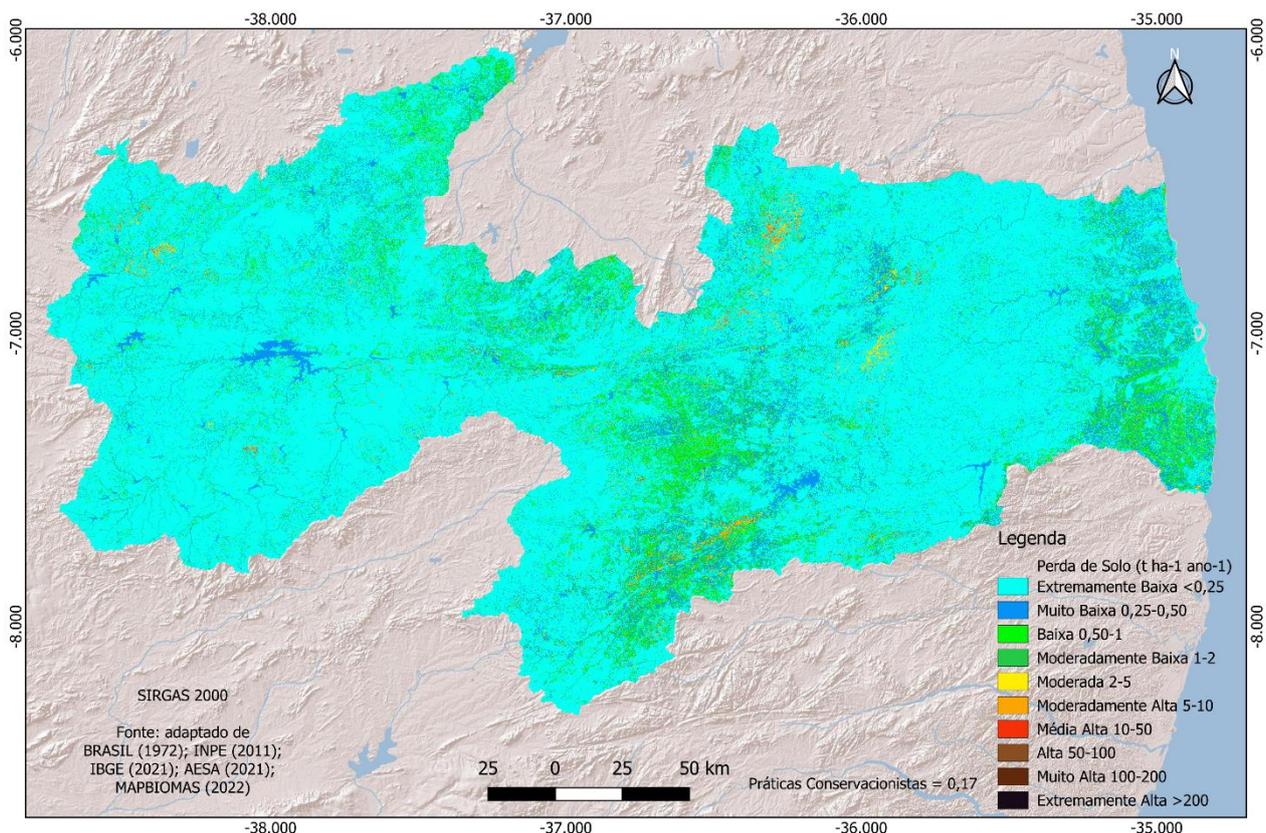


Figura 16. Perda de solos do Estado da Paraíba com práticas conservacionistas de alternância de capinas ( $P=0,17$ ).

Fonte: adaptado de BRASIL (1972); INPE (2011); AESA (2021); IBGE (2021); MAPBIOMAS (2022); ESRI (2022).



No resultado da modelagem para a estimativa de perdas de solo para o  $P = 0,17$ , pode observar o aumento de área das classes de menores perdas, onde caso se adote a alternância de capinas nas atividades agropecuárias, assim promovendo a conservação e com probabilidade de aumento na produção, além da melhor conservação de áreas em declive e de preservação permanente.

## **PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS COM APLICAÇÃO DE FAIXAS DE VEGETAÇÃO PERMANENTE**

A mesma probabilidade pode ocorrer na modelagem para as práticas conservacionistas com aplicação de faixas de vegetação permanente ( $P = 0,08$ ). No respectivo mapa (Figura 17) pode-se observar que os cenários das classes extremamente baixa, muito baixa e baixa ( $<0,25$  a  $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) estão distribuídas em  $55.689,45 \text{ km}^2$  (98,62%); e as classes moderadamente baixa, moderada e moderadamente alta ( $1$  a  $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) com representação de 1,38% do total apresentam-se distribuídas em  $777,80 \text{ km}^2$ , estas áreas apresentam-se praticamente nos mesmos municípios do Sertão, São João do Rio do Peixe, sob o Planalto da Borborema, região de São Domingos do Cariri, e no Seridó próximo ao município de Picuí. As classes média alta, alta, muito alta e extremamente alta ( $0$  a  $>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) não apresentam representação nesta modelagem. Estes resultados de perdas de solos mais persistentes são provenientes da pouca ou quase nenhuma cobertura do solo nestas áreas, podendo se considerar áreas de estado de deterioração de suas terras, sendo necessário aplicação de práticas diversas além destas propostas por esta modelagem.

Albuquerque et al. (2001) afirmam que, unidades de solo localizadas sobre o embasamento cristalino, caracterizadas por baixos teores de matéria orgânica, baixa profundidade efetiva e horizonte B textural, não podem permanecer sem a proteção da cobertura vegetal, devido ao risco de atingirem severo estágio de degradação.

Nas demais áreas, caso ocorram estas práticas conservacionistas, a produção agropecuária pode apresentar maior rendimento e lucratividade, além de promover a conservação e preservação destes ambientes em relação ao solo e a água.

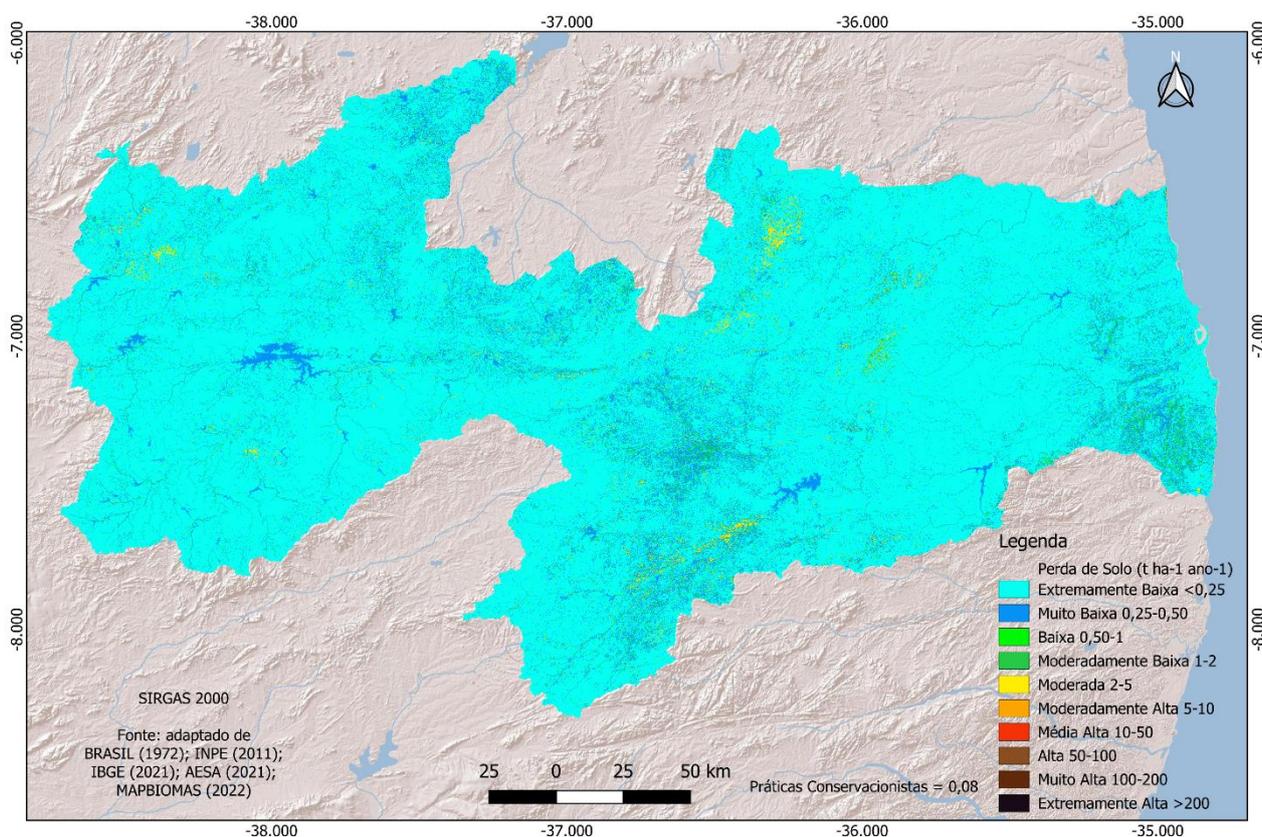


Figura 17. Perda de solos do Estado da Paraíba com práticas conservacionistas de faixas de vegetação permanente ( $P=0,08$ ).

Fonte: adaptado de BRASIL (1972); INPE (2011); AESA (2021); IBGE (2021); MAPBIOMAS (2022); ESRI (2022).

Maranhão e Silva (2014) estudando a variabilidade espacial de perdas de solo e risco de erosão no município de Monteiro, região do Cariri, observaram que 98,38% da área apresentava perdas entre 10 a 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Dias e Silva (2015) estimando o risco à erosão do solo no município de Lucena, região do Litoral, observaram que 78,07% da área com previsão de perdas de até 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Neossolos Quartzosos Marinheiros e Argissolo Vermelho Amarelo.

Sales et al. (2023) avaliando a perda de solos de propriedades rurais com dados obtidos em campo no município de Alagoa Nova, os valores de perdas para o Neossolo Regolítico, Neossolo Flúvico, Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho Amarelo foram de 29,88; 40,70; 44,16 e 126,19 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Por este trabalho os valores se apresentam similares.

De acordo como Albuquerque et al. (2005), no semiárido do Nordeste do Brasil predominam os cultivos manuais e tração animal; apesar disso, o desmatamento indiscriminado, as práticas inadequadas de manejo do solo, como preparo morro abaixo, queimadas e utilização intensa da mecanização com implementos inadequados, podem agravar os processos de degradação do solo, com risco potencial de expansão das áreas degradadas já existentes na região.

Por outra perspectiva, Albuquerque et al. (2005) afirmam que, ocorre controle eficiente da erosão por parte da cobertura vegetal oferecida pela caatinga nativa; em que este fato está associado, provavelmente, à extraordinária capacidade de rebrote da caatinga, por ocasião das primeiras chuvas, formando um dossel semelhante a uma floresta baixa, capaz de atenuar os efeitos do impacto das gotas de chuva sobre o solo. Mendes (1986), Reis (1988) e Albuquerque et al. (2001) afirmam que durante a estação seca, por outro lado, a caatinga hiperxerófila, por ser decídua, contribui para a formação de uma camada de folhas sobre a superfície, atenuando não apenas o impacto das gotas de chuva, mas, também, o escoamento superficial sobre o solo.

## ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Na Tabela 17, da análise estatística descritiva das variáveis práticas conservacionistas, observam-se os valores mínimos e máximos encontradas na variável P=1 entre 0,55 e 31.0822,36 com uma mediana em 2.341,26. Isto devido a prática modelada ser de morro abaixo que promove maiores perdas de solo. A variável P = 0,08 de práticas conservacionistas com aplicação de faixas de vegetação permanente é a que apresenta o maior valor máximo e de alcance entre as demais.

Tabela 17. Análise descritiva das variáveis modeladas

Variável	Min.	1.º Quart.	Mediana	3.º Quart.	Max.	Alcance	Desvio Padrão	Curtose	Erro Padrão
P = 1,00	0,55	291,18	2.341,26	6.519,42	31.082,91	3.1082,36	1,91	2,45	2.966,61
P = 0,64	0,03	178,34	1.743,27	5.292,49	35.345,99	3.5345,96	2,05	2,90	3.393,58
P = 0,17	0	18,48	374,16	3.789,54	44.484,57	4.4484,57	2,20	3,32	4.358,47
P = 0,08	0	1,49	197,24	1.048,23	49.668,82	4.9668,82	2,24	3,46	4.913,21

O desvio padrão apresenta menores valores para a variável P=1 e os maiores desvios apresentam-se na variável P=0,08. A média e a mediana apresentam valores não muito

próximos para ambos as variáveis, o que levar a deduzir que não se trata de uma distribuição simétrica. Resultado esperado nesta modelagem devido a diferença nas práticas conservacionistas propostas.

Nos boxplots dos quantis teórico e acumulado das variáveis (Figura 18), observa-se uma distribuição regular nas variáveis estudadas com valores menores para a modelagem  $P=0,08$ .

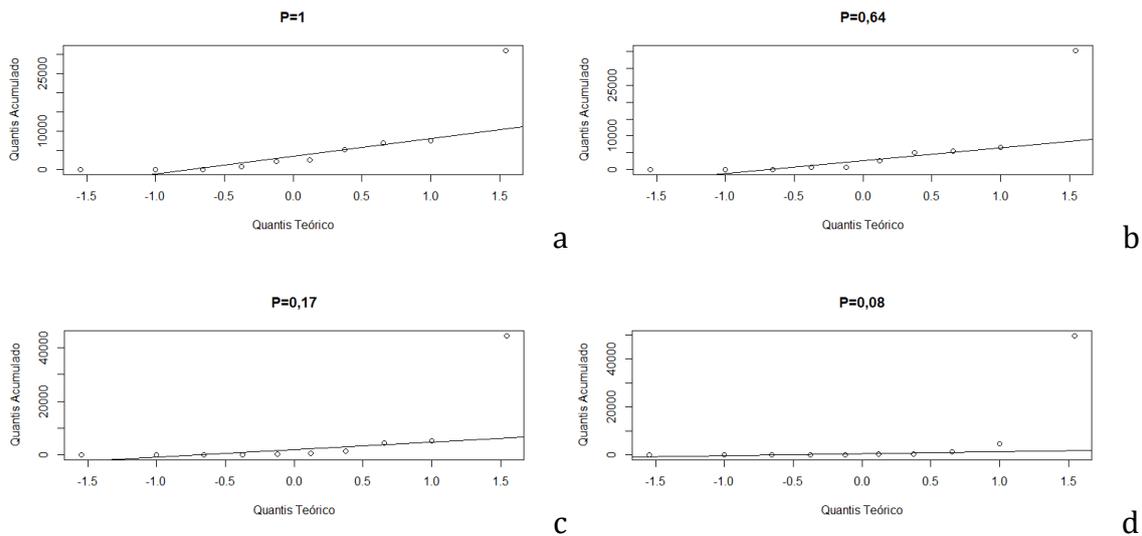


Figura 18. Boxplot das variáveis. a)  $P = 1$ , b)  $P = 0,64$ , c)  $P = 0,17$ , d)  $P = 0,08$ .

Na Tabela 18 pode-se observar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Lilliefors e Jarque-Bera apresentam-se semelhantes entre si, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados. Para todas as variáveis os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Lilliefors são semelhantes entre si. O teste de Jarque-Bera apresenta diferença entre todas as variáveis e os demais testes.

Tabela 18. Testes de normalidade

Variável\Teste	Shapiro-Wilk		Lilliefors		Jarque Bera	
	W	p-valor	D	p-valor	X-quadrado	p-valor
$P = 1,00$	0,63061	0,0001284	0,31736	0,005126	14,12	0,000855
$P = 0,64$	0,56577	0,0000216	0,36441	0,000478	17,29	0,000176
$P = 0,17$	0,47069	0,0000016	0,41485	0,000024	20,64	0,000033
$P = 0,08$	0,42503	0,0000004	0,42304	0,000014	21,77	0,000018

De acordo com diversos autores como Molnár e Julián (1998), Sánchez (2002) e Straus e Klaghofer (2003), os resultados de modelos matemáticos de predição de erosão são dependentes da resolução espacial do Modelo Digital do Terreno. Neste trabalho utilizou



pixels de 29,6 metros e ajustes quanto ao Fator L nos cálculos do LS da EUPS, adequando melhor a resolução espacial.

Embora a EUPS tenha sua utilização para pequenos talhões, compatível com o uso agrícola, ela pode ser empregada em grandes áreas ou em escalas regionais, permitindo avaliar qualitativamente e geograficamente as áreas de diferentes graus de susceptibilidade à erosão (BATISTA & EID, 1998; FARINASSO et al., 2006). No entanto, com a metodologia de modelagem dos cenários utilizado neste trabalho, observa-se a possibilidade do uso em grande áreas com boa predição dos resultados.

## **LTP**

Pelos resultados obtidos pode-se observar no mapa do Limite de Tolerância de Perda de solos (Figura 19) e pela Tabela 19, que a classe muito alta ( $>12 \text{ T Mg ha}^{-1}$ ), com 170 unidades de mapeamento com representação em 12,33% do total do Estado ( $6.963,53 \text{ km}^2$ ), apresenta-se distribuída na região do Litoral em sua maioria sob os Argissolos Amarelos e Argissolos Vermelhos Amarelos e os Latossolos Amarelos, em relevo plano a suave ondulado, região dos Tabuleiros Costeiros com pluviosidade acima de  $1.600 \text{ mm ano}^{-1}$  e vegetação residual de Mata Atlântica; na região Agreste adentrando a oeste do Estado, ocorre sob clima mais ameno com pluviosidade média de  $1.200 \text{ mm ano}^{-1}$  em relevo declivosos com maiores altitudes (700 m) sob Mata Úmida; e em menores proporções no Planalto da Borborema, divisa com Pernambuco em maiores altitudes com pluviosidade média anual de 700mm com vegetação de Caatinga, e no Sertão em relevo plano em menores altitudes. Estes solos variam com limites de tolerância de perdas entre 12,24 a  $27,20 \text{ T Mg ha}^{-1}$ .

Os Espodosolos ocorrem no Litoral em região de mangue, com limite de tolerância de perda de  $12,24 \text{ T Mg ha}^{-1}$ . Os Cambissolos estão situados no Sertão com média de perdas de  $18,39 \text{ T Mg ha}^{-1}$ . Francisco et al. (2021) observaram na bacia do Açude Namorado, região do Cariri, que a classe muito alta de limite de tolerância de perdas dos solos está associada ao Cambissolo com profundidade efetiva de 1 m. Resultado similar a este estudo onde a média de profundidade destes solos é de 1,1 m.

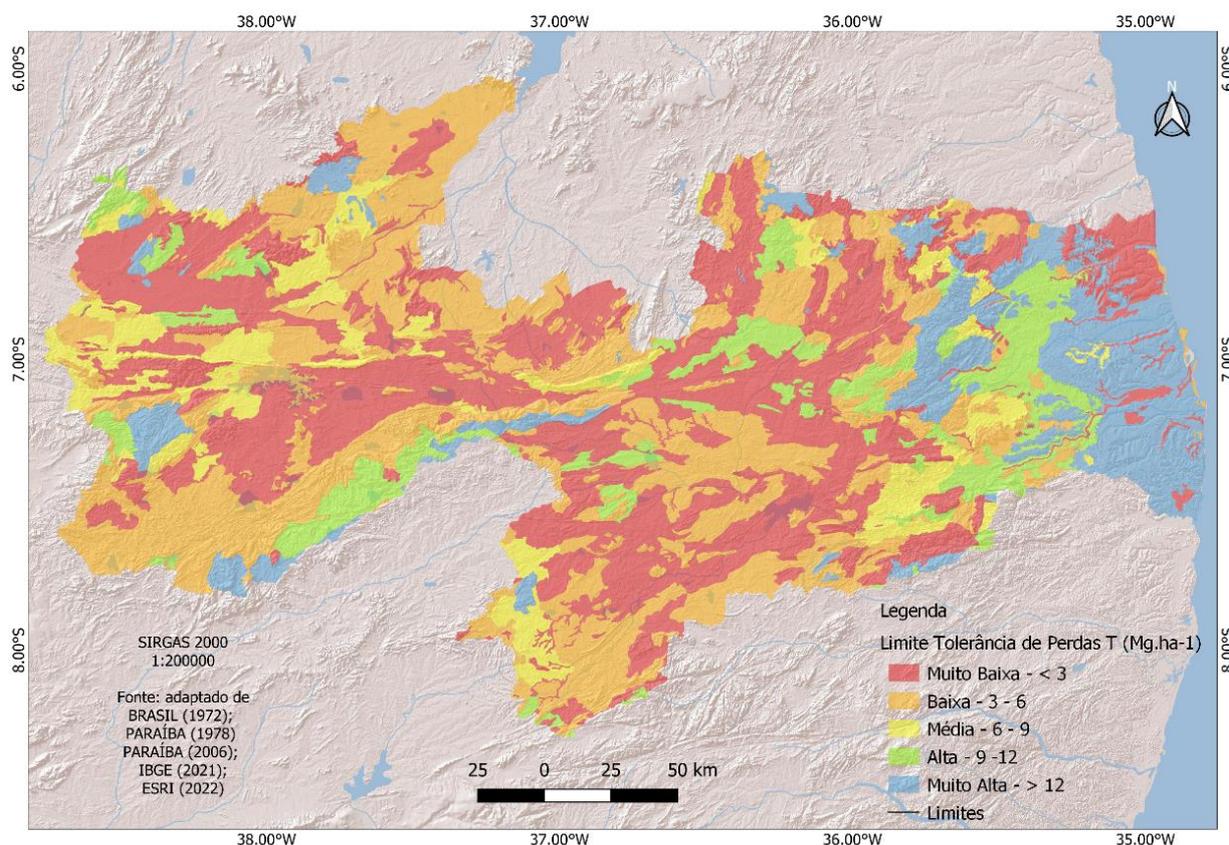


Figura 19. Limite de Tolerância de Perda de solos do Estado da Paraíba - Fator K.

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

De acordo com Oliveira (2004), os valores intermediários de profundidade efetiva, aliados à baixa relação textural, parecem explicar a tolerância relativamente alta para os Cambissolos. Conforme a EMBRAPA (1999), apesar do relativo grau de evolução do horizonte B, os Cambissolos não têm acumulação suficiente de argila iluvial que permita classificá-los como solos com horizonte B textural e não apresentam relação silte/argila e percentagem de minerais primários alteráveis que permitam a sua classificação como solos com horizonte B latossólico.

A classe muito alta de limite de tolerância de perdas apresenta a média da relação textural entre B e A de 1,38, e quanto a profundidade efetiva a média de 1,56 m. Dados similares ao de Oliveira (2004) devido o maior numero de pólígonos avaliados.

Tabela 19. Classes do Limite de Tolerância de Perda e seus parâmetros

Município Amostra	N.o Perfil	Classe de solos	Argila (%)	Relação Textural	r	Prof. h (mm)	Altura h.r (m)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	T (Mg.h a <sup>-1</sup> )	Classe
Areia	1*	Latossolos Amarelos-LA	A = 27 e B = 4	0,15	1,00	2200	2,200	1,36	29,92	Muito Alta
Litoral	3*	Latossolos Amarelos-LA	A = 22 e B = 26	1,18	1,00	1800	1,800	1,36	24,48	Muito Alta
Cuité	4	Latossolos Amarelos-LA	A = 16 e B = 20	1,25	1,00	2000	2,000	1,36	27,20	Muito Alta
Araruna	6*	Latossolos Amarelos-LA	A = 16 e B = 17	1,06	1,00	1700	1,700	1,36	23,12	Muito Alta
Mamanguape	7	Argissolos Acinzentados-PAC	A = 8 e B = 10	1,25	1,00	1600	1,600	1,36	21,76	Muito Alta
Natuba	6	Argissolos Amarelos-PA	A = 25 e B = 43	1,72	0,75	1200	0,900	1,36	12,24	Muito Alta
Pitimbu	8	Argissolos Amarelos-PA	A = 5 e B = 7	1,40	1,00	1850	1,850	1,36	25,16	Muito Alta
Rio Tinto	9	Argissolos Amarelos-PA	A = 4 e B = 4	1,00	1,00	1800	1,800	1,36	24,48	Muito Alta
Sapé	10	Argissolos Amarelos-PA	A = 3 e B = 14	4,66	0,50	1750	0,875	1,36	11,90	Alta
Pedras de Fogo	11	Argissolos Amarelos-PA	A = 6 e B = 11	1,83	0,75	1750	1,313	1,36	17,85	Muito Alta
Sapé	18	Argissolos Amarelos-PA	A = 2 e B = 4	2,00	0,75	2000	1,500	1,36	20,40	Muito Alta
Alhandra	3	Argissolos Vermelho-Amarelos-PVA	A = 4 e B = 2	0,50	1,00	1750	1,750	1,36	23,80	Muito Alta
Princesa Izabel	12	Argissolos Vermelho-Amarelos-PVA	A = 10 e B = 19	1,90	0,75	1200	0,900	1,36	12,24	Muito Alta
Jacaraú	19	Argissolos Vermelho-Amarelos-PVA	A = 3 e B = 3	1,00	1,00	1700	1,700	1,36	23,12	Muito Alta
Areia	20	Argissolos Vermelho-Amarelos-PVA	A = 12 e B = 19	1,58	0,75	750	0,563	1,36	7,65	Média
Bonito de Santa Fé	13	Argissolos Vermelhos-PV	A = 14 e B = 24	1,72	0,75	900	0,675	1,36	9,18	Alta
Teixeira	15	Argissolos Vermelhos-PV	A = 34 e B = 37	0,92	1,00	400	0,400	1,36	5,44	Baixa
Guarabira	21	Argissolos Vermelhos-PV	A = 17 e B = 6	0,35	1,00	940	0,940	1,36	12,78	Muito Alta
Lagoa Seca	22	Argissolos Vermelhos-PV	A = 17 e B = 16	0,94	1,00	2000	2,000	1,36	27,20	Muito Alta
Alagoa Grande	23	Argissolos Vermelhos-PV	A = 27 e B = 34	1,26	1,00	2000	2,000	1,36	27,20	Muito Alta
Jacaraú	19	Plintossolos Argilúvicos-FT	A = 3 e B = 3	1,00	1,00	1700	1,700	1,36	23,12	Muito Alta
Teixeira	6*	Plintossolos Pétricos-FF	A = 16 e B = 17	1,06	1,00	1700	1,700	1,36	23,12	Muito Alta
Pombal	24	Luvissolos Crômicos-TC	A = 9 e B = 42	4,66	0,50	450	0,225	1,36	3,06	Baixa
Monteiro	25	Luvissolos Crômicos-TC	A = 18 e B = 16	0,88	1,00	450	0,450	1,36	6,12	Média
Patos	26	Luvissolos Crômicos-TC	A = 9 e B = 42	4,66	0,50	450	0,225	1,36	3,06	Baixa
Solânea	27	Luvissolos Crômicos-TC	A = 13 e B = 49	3,76	0,50	450	0,225	1,36	3,06	Baixa
Sapé	28	Luvissolos Crômicos-TC	A = 14 e B = 18	1,28	1,00	640	0,640	1,36	8,70	Média
Ingá	29	Luvissolos Crômicos-TC	A = 10 e B = 32	3,20	0,50	450	0,225	1,36	3,06	Baixa
São Miguel de Taipu	30	Luvissolos Crômicos-TC	A = 22 e B = 39	1,77	0,75	600	0,450	1,36	6,12	Média
São Mamede	31	Luvissolos Crômicos-TC	A = 11 e B = 15	1,36	1,00	500	0,500	1,36	6,80	Média
Barra de Santa Rosa	32	Luvissolos Crômicos-TC	A = 10 e B = 26	2,60	0,50	550	0,275	1,36	3,74	Baixa
Cuité	33	Luvissolos Crômicos-TC	A = 10 e B = 26	2,60	0,50	550	0,275	1,36	3,74	Baixa
Gurinhém	34	Planossolos Háplicos-SX	A = 6 e B = 24	4,00	0,500	450	0,225	1,36	3,06	Baixa
Tacima	35	Planossolos Háplicos-SX	A = 10 e B = 48	4,80	0,5	500	0,250	1,36	3,40	Baixa
Tavares	16	Cambissolos Háplicos-CX	A = 12 e B = 14	1,16	1,00	1500	1,500	1,36	20,40	Muito Alta
Princesa Izabel	36	Cambissolos Háplicos-CX	A = 17 e B = 19	1,12	1,00	1400	1,400	1,36	19,04	Muito Alta
Taperoá	37	Cambissolos Háplicos-CX	A = 11 e B = 13	1,20	1,00	1550	1,550	1,36	21,08	Muito Alta
Conceição	55	Cambissolos Háplicos-CX	A = 19 e B = 23	1,20	1,00	960	0,960	1,36	13,06	Muito Alta
Queimadas	39	Vertissolos Ebânicos-VE	A = 34 e B = 46	1,36	0,75	160	0,120	1,36	1,63	Muito Baixa
Campina Grande	38	Vertissolos Háplicos-VX	A = 30 e B = 37	1,23	1,00	150	0,150	1,36	2,04	Muito Baixa
Souza	40	Vertissolos Háplicos-VX	A = 52 e B = 47	0,90	1,00	50	0,050	1,36	0,68	Muito Baixa
Sumé	41	Vertissolos Háplicos-VX	A = 34 e B = 46	1,36	0,75	160	0,120	1,36	1,63	Muito Baixa
Boqueirão	42	Vertissolos Háplicos-VX	A = 28 e B = 32	1,14	1,00	150	0,150	1,36	2,04	Muito Baixa
Cubati	43	Planossolos Nátricos-SN	A = 5 e B = 22	4,4	0,50	170	0,085	1,36	1,16	Muito Baixa
Campina Grande	44	Planossolos Nátricos-SN	A = 10 e B = 20	2,00	0,75	170	0,128	1,36	1,73	Muito Baixa
Uiraúna	45	Planossolos Nátricos-SN	A = 4 e B = 11	2,75	0,50	250	0,125	1,36	1,70	Muito Baixa
Conde	46	Espodossolos Ferri-humulúvicos-ESK	A = 2 e B = 1	2,80	0,75	1200	0,900	1,36	12,24	Muito Alta
Santa Rita	47	Neossolos Flúvicos-RY	A = 9 e B = 26	2,90	0,50	170	0,085	1,36	1,16	Muito Baixa
São José de Piranhas	48	Neossolos Litólicos-RL	AR = 10	0	1,00	200	0,200	1,36	2,72	Muito Baixa
Santana dos Garrotes	49	Neossolos Litólicos-RL	AC = 14	0	1,00	130	0,130	1,36	1,77	Muito Baixa
Picuí	50	Neossolos Litólicos-RL	A = 0 e C = 13	0	1,00	110	0,110	1,36	1,50	Muito Baixa
Umbuzeiro	51	Neossolos Litólicos-RL	A = 12 e C = 13	1,10	1,00	150	0,150	1,36	2,04	Muito Baixa
Soledade	53	Neossolos Litólicos-RL	A = 7 e C = 10	1,42	1,00	350	0,350	1,36	4,76	Baixa
Piancó	56	Neossolos Litólicos-RL	A = 4 e C = 6	1,50	1,00	250	0,250	1,36	3,40	Baixa
Alagoinhas	59	Neossolos Litólicos-RL	A = 11 e C = x	0	1,00	350	0,350	1,36	4,76	Baixa
Araruna	52	Neossolos Regolíticos - RR	A = 8 e C = 8	1,00	1,00	80	0,080	1,36	1,09	Muito Baixa
Souza	54	Neossolos Regolíticos - RR	A = 4 e C = 11	2,75	0,50	250	0,125	1,36	1,70	Muito Baixa
Junco do Seridó	57	Neossolos Regolíticos - RR	A = 4 e C = 6	1,50	1,00	250	0,250	1,36	3,40	Baixa
Fagundes	58	Neossolos Regolíticos - RR	A = 7	0	1,00	300	0,300	1,36	4,08	Baixa
Solânea	60	Neossolos Regolíticos - RR	A = 5 e C = 2	2,50	0,50	500	0,250	1,36	3,40	Baixa
Livramento	62	Neossolos Regolíticos - RR	A = 5 e C = 10	2,00	0,75	300	0,225	1,36	3,06	Baixa
Teixeira	61	Neossolos Quartzarênicos - RQ	A = 5 e C = 10	2,00	0,75	300	0,225	1,36	3,06	Baixa
Campina Grande	63	Neossolos Quartzarênicos - RQ	A = 1 e C = 1	1,00	1,00	270	0,270	1,36	3,67	Baixa
Cabedelo	64	Neossolos Quartzarênicos - RQ	A = 15 e B = 46	3,10	0,50	550	0,275	1,36	3,74	Baixa
Conde		Gleissolos Tiorfórficos Órticos sálicos - GJ	A = 0 e C = 0	0	1,00	1370	1,370	1,36	18,63	Muito Alta
Conde		Gleissolos - G	A = 0 e C = 0	0	1,00	1400	1,400	1,36	19,00	Muito Alta
AR		Afloramentos de Rocha	A = 10 e C = X	X	0,75	350	0,263	1,36	3,57	Baixa

Fonte: BRASIL (1972); \*PARAÍBA (1978); \*\*EMBRAPA (2017); EMBRAPA (2018).

Na determinação da tolerância de perdas de solo obtidas por Oliveira (2004), além dos parâmetros como profundidade efetiva do solo e relação textural entre horizontes B e A,

observou que o teor de argila do horizonte A como variável associada à relação textural. Oliveira et al. (2008) afirmam que, os Argissolos apresentaram maior valor de tolerância à erosão indicando que estes solos se diferenciam aos demais quanto ao comportamento em campo frente aos processos erosivos.

Quanto aos Latossolos a permeabilidade acentuada, resultado da elevada profundidade efetiva e da baixa relação textural, associadas à predominância de textura média/argilosa, estrutura bem desenvolvida (tipicamente entre blocos e granular) e teores consideráveis de matéria orgânica, contribuem para a maior resistência à erosão hídrica desses solos (RESENDE, 1985).

Tabela 20. Distribuição das classes do LTP

Classe	Unidades de Mapeamento	Total (km <sup>2</sup> )	%
Muito Baixa	362	20.339,83	36,02
Baixa	389	18.543,17	32,84
Média	64	5.136,35	9,10
Alta	68	5.484,36	9,71
Muito Alta	170	6.963,53	12,33
<b>Total</b>	<b>1.053</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100,00</b>

A classe alta de limite de tolerância de perdas (9 a 12 T Mg ha<sup>-1</sup>) distribuídas em 5.484,36 km<sup>2</sup> (9,71%) em 68 unidades de mapeamento representada pelos Argissolos Vermelhos da região do município de Sapé no Agreste Acaatingado com pluviosidade variando entre 600 a 900mm anuais em relevo suave ondulado, com valores de tolerância de perdas de 11,90 T Mg ha<sup>-1</sup>. Na região do Sertão representado pelos Argissolos Amarelos sob o Planalto de Princesa, divisa com Pernambuco em maiores altitudes, com clima semiárido e vegetação hiperxerófila, com valores menores de tolerância de perdas de 9,18 T Mg ha<sup>-1</sup>. Sob o Planalto da Borborema com pequenas ocorrências ao sul na região de Sumé e ao norte em Nova Floresta.

Na classe média de limite de tolerância de perdas (6 a 9 T Mg ha<sup>-1</sup>) com ocorrência em 64 unidades de mapeamento (5.136,35 km<sup>2</sup>) em 9,1% do total, em que observa-se a ocorrência dos Luvisolos Crômicos variando entre 6,12 a 8,70 T Mg ha<sup>-1</sup>, sob o Cariri e o Curimataú com menor pluviosidade entre 500 a 700mm anuais em relevo suave ondulado a ondulado. Valores similares aos encontrados por Oliveira (2004).

De acordo com Oliveira et al. (2008), os Luvisolos são solos de ocorrência expressiva no Estado da Paraíba, principalmente na zona semi-árida, e constituem, segundo Resende et al. (1988), um sistema tipicamente mais suscetível à erosão hídrica, apesar do relevo relativamente suave em que ocorrem. Conforme Chaves et al. (1985), os fatores para a maior tendência a perdas por erosão nestes solos são a distribuição e intensidade das chuvas da região semi-árida e de acordo com Resende (1983) a pouca cobertura vegetal e a grande incidência de superfícies encrostadas.

A classe baixa de limite de tolerância de perdas (3 a 6 T Mg ha<sup>-1</sup>) ocorre em 389 unidades de mapeamento de solos representando 32,84% (18.543,17 km<sup>2</sup>) em sua maioria na região semiárida com menor pluviosidade, vegetação hiperxórfila de caatinga, em relevo suave ondulado a montanhoso sob Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos. Resultados similares ao encontrado por Oliveira (2004) em que os Luvisolos apresentaram tolerância de perdas de 4,01 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e por Mannigel et al. (2002) no Estado de São Paulo entre valores de 2,9 e 5,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Os Neossolos apresentam relação textural média de 1,97 entre B e A, e de 0,40 cm de profundidade efetiva. Oliveira (2008) identificou relação textural média de 0,80 e profundidade média de 0,43 cm. Resultados similares a este estudo.

Bertol e Almeida (2000) afirmam que, nos Neossolos Quartzarênicos, a despeito da acentuada drenagem de água no perfil, a baixa resistência à erosão hídrica é conferida pelos altos teores de areia e baixos de argila e matéria orgânica, resultando em fraca agregação.

Nos estudos de Oliveira et al. (2008), os Luvisolos e Planossolos apresentaram baixa profundidade efetiva em que limita o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Estas características, em conjunto, limitam grandemente a capacidade de drenagem interna, aumentando a suscetibilidade à erosão.

Francisco e Chaves (2017), estimando os limites de tolerancia de perdas em região semiárida, observaram que as classes baixa e muita baixa apresentaram-se associado à baixa profundidade efetiva, bem como, ao forte gradiente textural dos horizontes argílico dos Luvisolos e Nátrico dos Planossolos.

Na classe muito baixa de limite de tolerância de perdas (< 3 T Mg ha<sup>-1</sup>) observa-se sua distribuição por toda a área de estudo sob os diversos climas e relevo em 20.339,83 km<sup>2</sup> representando 36,02%. Estes são representados pelos Planossolos Háplicos localizados na região do Cariri e Curimataú; pelos Vertissolos Háplicos localizados na região do Açude Epitácio Pessoa em Boqueirão, em Campina Grande e em Souza nas Várzeas no Sertão; os

Vertissolos Ebânicos em Queimadas; os Neossolos Litólicos em toda a região semiárida como também os Neossolos Flúvicos localizados nas áreas de drenagem dos rios. Variando entre 0,68 e 2,72 T Mg ha<sup>-1</sup> com média de 1,64 T Mg ha<sup>-1</sup> e profundidade média de 12,3 cm com relação textural de 1,47.

Os Planossolos em sua maioria localizados sob o Planalto da Borborema apresentam profundidade efetiva média de 1,96 m e relação textural média de 3,05.

O Planossolo Háplico, conforme Paes-Silva (2002), apresenta como característica diagnóstica uma mudança textural abrupta entre os horizontes A e Bt. O horizonte Bt apresenta estrutura prismática, argila de atividade alta, sendo imperfeitamente drenado. A percentagem de saturação por sódio está entre 3 a 13% nos horizontes B e C (BRASIL, 1972).

Oliveira (2004) estimou a tolerância das perdas para as principais ordens de solo do Estado da Paraíba e constatou variação nos valores de tolerância de 2,82 a 10,64 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em que os maiores valores foram registrados para os Luvisolos e Neossolos.

Ainda de acordo com Oliveira (2004), esses valores situam-se dentro dos limites definidos pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), com perdas de 12 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para solos profundos e bem drenados, e de 2 a 4 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para solos rasos e de baixa permeabilidade (FAO, 1965), bem como dentro da faixa de 4,5 a 11,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, estabelecida para os EUA (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Os valores de tolerância variam em função das ordens de solos, como observado por diversos autores (BERTOL & ALMEIDA, 2000; OLIVEIRA et al., 2008; NUNES et al., 2012).

Conforme Wischmeier e Smith (1978) foram estabelecidos para os Estados Unidos da América (EUA), níveis de tolerância de perdas de solo da ordem de 4,5 t a 11,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Para o Brasil, estudos já realizados indicam que as tolerâncias de perda também se situam ao redor dessa faixa. Para alguns solos de São Paulo, Lombardi Neto e Bertoni (1975) sugerem valores de 4,5 a 15,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Vieira e Vieira (1990), estimaram valores de tolerância média de perdas de terra para solos da região Amazônica variando de 10,43 a 16,80 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para solos com horizonte B latossólico e de 7,79 a 9,33 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para solos com horizonte B textural.

Na região Centro Leste do Estado de Minas Gerais, Silva et al. (2002) observaram valores de tolerância de 5,46 e 11,22 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o Cambissolo Háplico e Latossolo Amarelo, respectivamente.

Oliveira (2004) afirma que uma vez determinada a taxa de erosão dos solos de uma determinada região ou propriedade, o conhecimento do valor de tolerância de perda indicará

a necessidade de adotar mecanismos e técnicas de manejo que reduzam as perdas por erosão visando manter a sustentabilidade do sistema produtivo.

## PNE

Observa-se que a declividade da área de estudo - Fator S (Figura 20), apresenta-se em sua maioria na classe muito baixa de declividade em 44,81% (Tabela 21) 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.

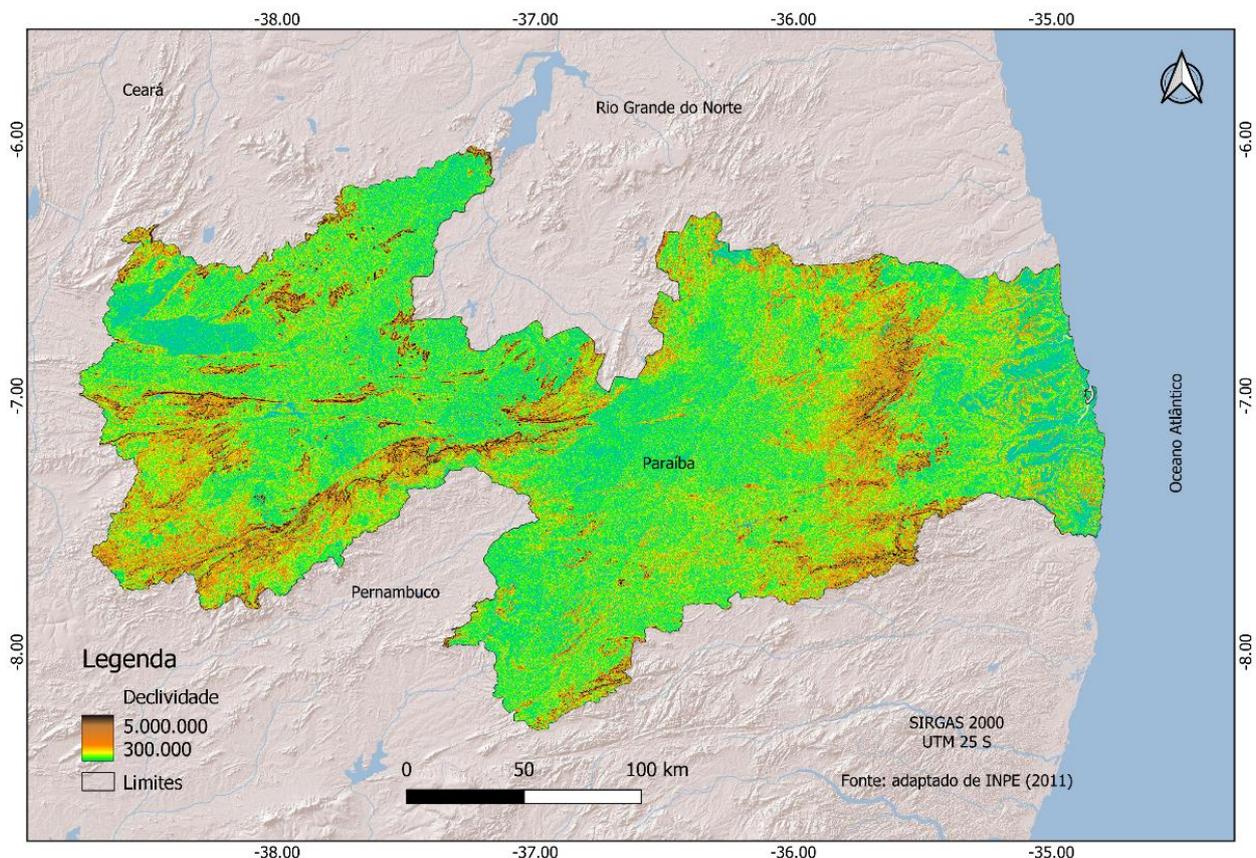


Figura 20. Declividade do Estado da Paraíba – Fator S.

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 21. Áreas das classes dos fatores

Classes	Fator R		Fator K		Fator S		PNE	
	(km <sup>2</sup> )	(%)						
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
<b>Total</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100</b>

Observa-se no mapa de erosividade média anual (Fator R) (Figura 21), que a classe baixa (<2.000 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h-1.ano<sup>-1</sup>) 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.

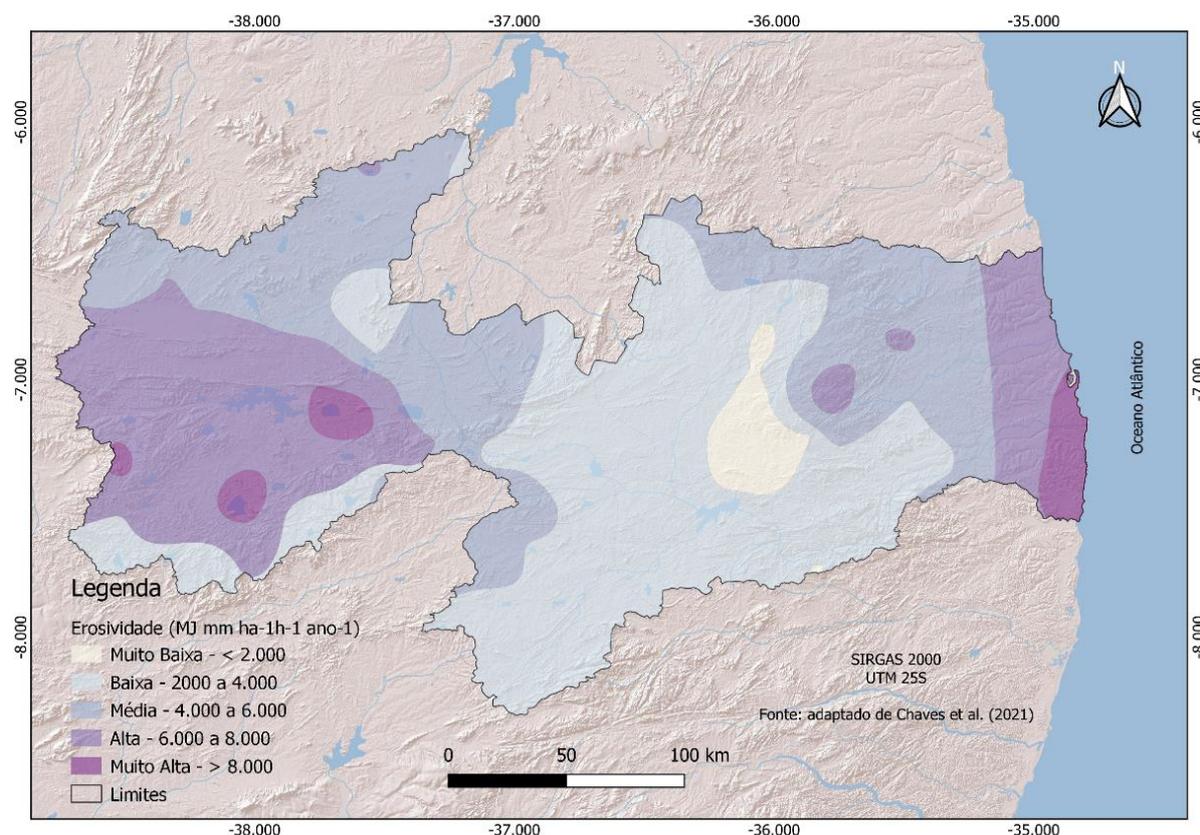


Figura 21. Erosividade média anual do Estado da Paraíba – Fator R.  
 Fonte: adaptado de Chaves et al. (2021); IBGE (2021); ESRI (2022).

A classe baixa de erosividade ( $2.000$  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  $900 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Para o oeste, sobre o Planalto da Borborema, a erosividade aumenta com a altitude e a precipitação está relacionado aos  $500 \text{ mm.ano}^{-1}$ .

Quanto a classe média de erosividade ( $4.000$  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  $700 \text{ mm}$ . A classe média apresenta-se também no Agreste Acaatingado em menor proporção seguindo a faixa Litorânea.

A classe alta de erosividade ( $6.000$  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 2.000mm, 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 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 22) (Tabela 11), 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).

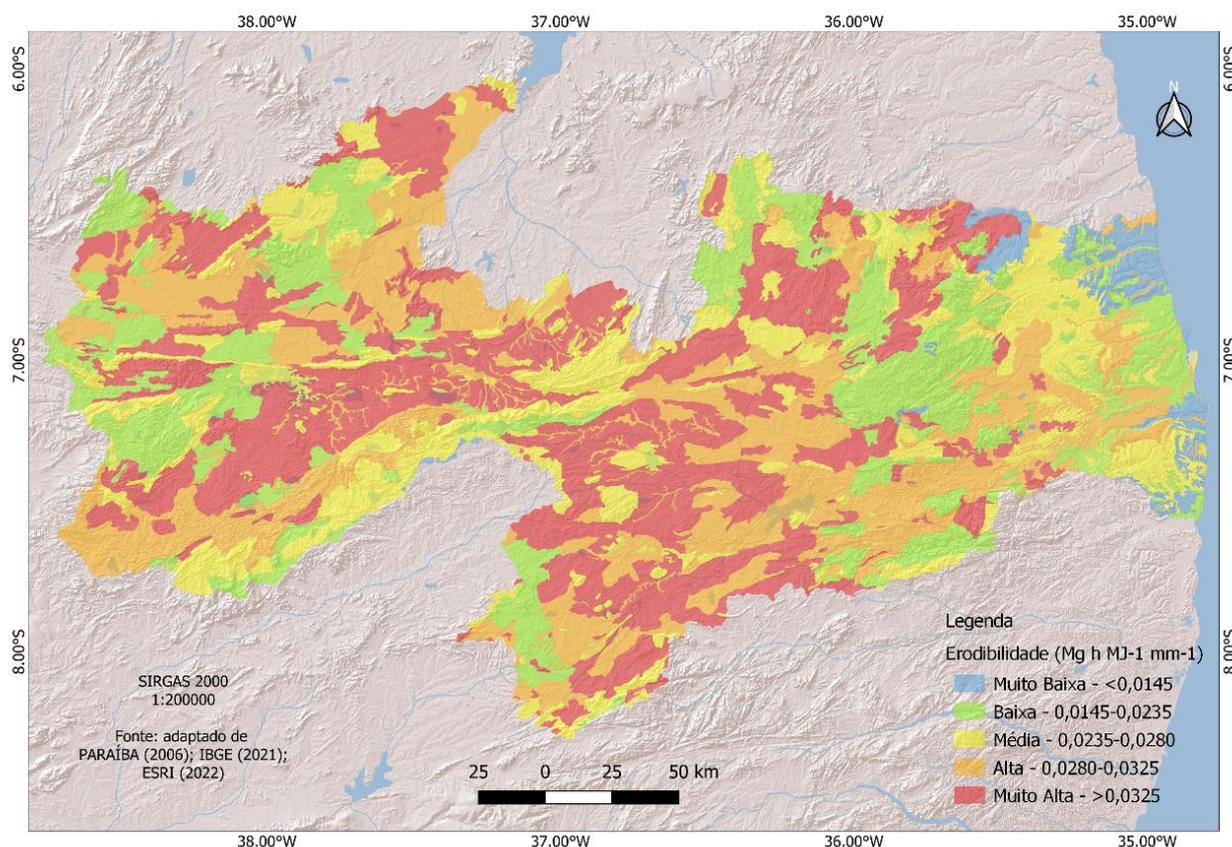


Figura 22. Erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba - Fator K.

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 ( $0,0149$   $0,0197$ ).

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-humulúvicos ( $0,0240$ ), 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  $0,0325$   $\text{Mg mm MJ}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ) 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 11), 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 Rególíticos ( $0,0330$  e  $0,0391$ , respectivamente).

No mapa de potencial natural de erosão (PNE) (Figura 23), e pela Tabela 11, 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  $5$   $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  para estes solos.

A classe baixa do PNE ( $5$  a  $50$   $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) ocorre em  $18,22\%$  das terras em  $10.289,36$   $\text{km}^2$  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.

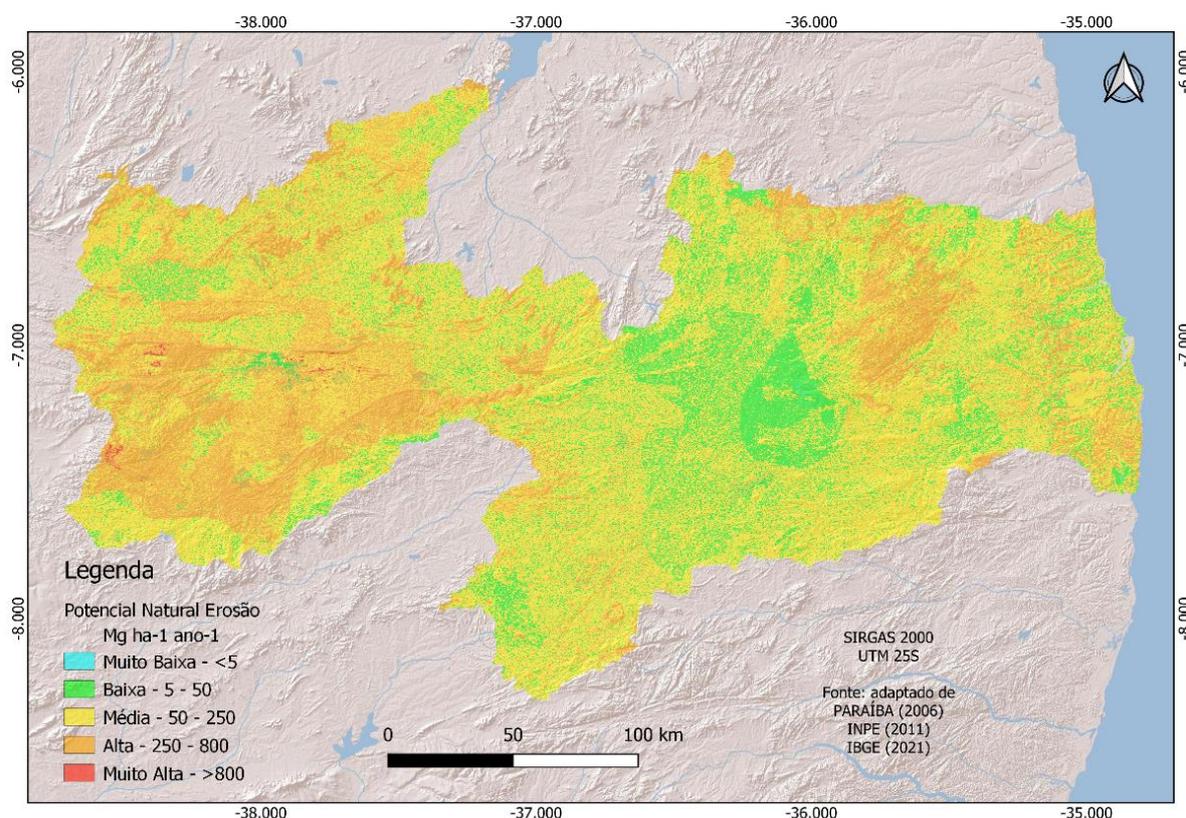


Figura 23. Potencial Natural de Erosão dos solos do Estado da Paraíba - PNE.

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

A classe média ocorre em 59,63% da área (33.672,80 km<sup>2</sup>) 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<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), observa-se sua ocorrência em 22,1% da área (Tabela 11). Estas áreas se localizam no Litoral em áreas de

menor declividade influenciado pela maior pluviosidade e conseqüentemente 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<sup>-1</sup>.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<sup>-1</sup> para as pastagens degradadas e 1,81 t.ha<sup>-1</sup> 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.

## **VULNERABILIDADE**

Observa-se no mapa do grau de vulnerabilidade à erosão dos solos (GVES) (Figura 24), que as áreas das classes muito alta e alta, representam 33,03% (18.648,20 km<sup>2</sup>) da área

(Tabela 22), e estão associadas à combinação de solos com LTP muito baixo e PNE alto, devido à declividade alta e muito alta do terreno (S) e maior erodibilidade dos solos (K), em que estes ocorrem, sob os Neossolos distribuídos em toda a região semiárida. Quanto aos Neossolos localizados no Sertão, estes são influenciados pela maior erosividade (R) na região.

Tabela 22. Áreas das classes dos fatores e vulnerabilidade

Classes	Fator R		Fator K		Fator S		PNE		LTP		GVES (PNE/LTP)	
	(km <sup>2</sup> )	(%)										
M. Baixa	1.633,38	2,89	1.531,31	2,71	25.301,35	44,81	8,46	0,01	20.339,83	36,02	11.706,49	20,73
Baixa	21.906,02	38,79	11.500,88	20,37	12.837,95	22,74	10.289,36	18,22	18.543,17	32,84	10.365,13	18,36
Média	17.467,69	30,93	10.709,90	18,97	9.802,82	17,36	33.672,80	59,63	5.136,35	9,1	15.747,42	27,89
Alta	13.559,43	24,01	15.204,37	26,93	4.502,26	7,97	12.430,47	22,01	5.484,36	9,71	9.072,16	16,07
M. Alta	1.900,72	3,37	17.520,77	31,03	4.022,86	7,13	66,16	0,12	6.963,53	12,33	9.576,04	16,96
<b>Total</b>	<b>56.467,24</b>	<b>100</b>										

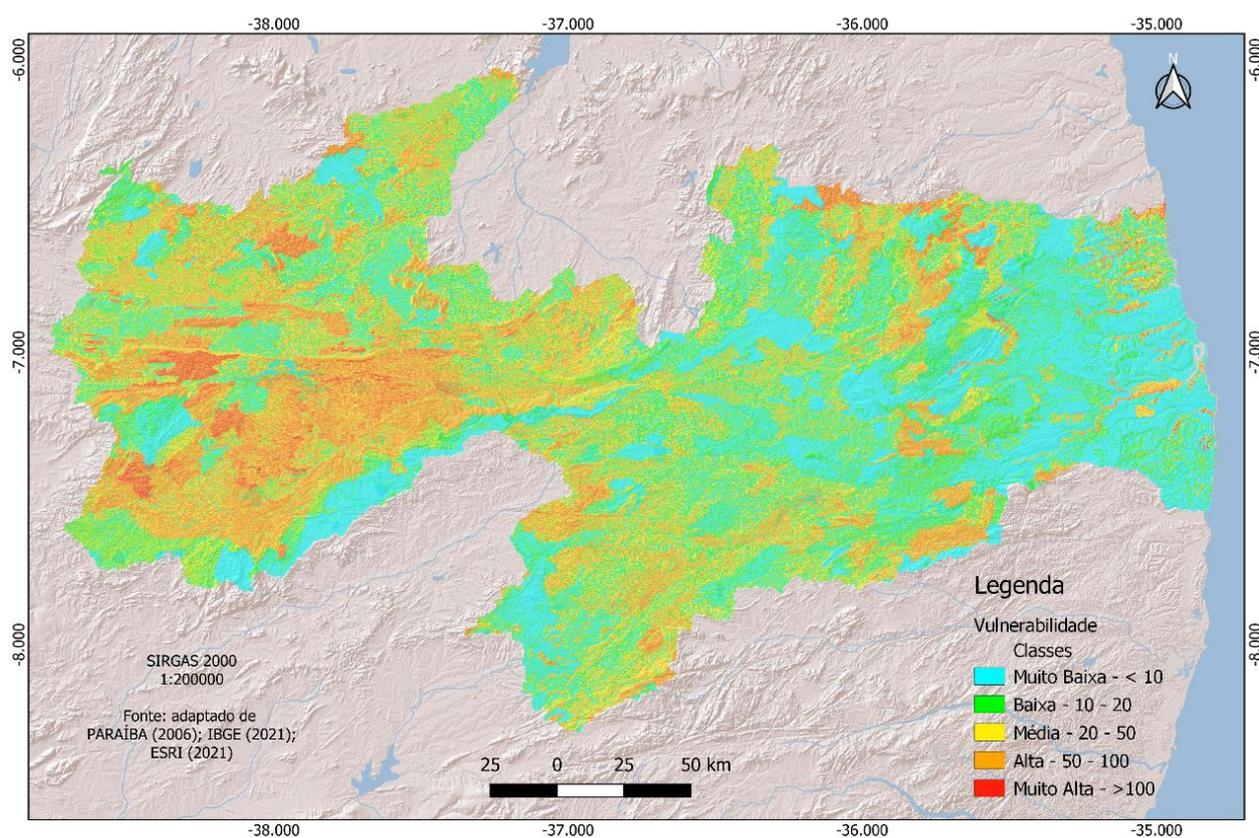


Figura 24. Grau de vulnerabilidade à erosão dos solos (GVES) do Estado da Paraíba.

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

De acordo com Jacomine (2009), os Neossolos são constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. São solos pouco desenvolvidos que não apresentam horizonte B diagnóstico. Cavalcante et al. (2005) afirmam que, estes solos não apresentam as menores condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochiosidade e reduzida profundidade dos solos, além da deficiência de água que só permite a presença de culturas resistentes à estiagem. Só é possível a exploração destes solos pelos sistemas primitivos de agricultura já existentes.

Francisco e Santos (2017) aplicando a mesma metodologia na bacia do Rio Taperoá observaram que áreas com grau alto estavam associadas à combinação de solos com LTP muito baixo e PNE médio, enquanto que, as áreas de grau muito alto estavam associadas à declividade alta e muito alta do terreno.

Na região do Alto Paraíba Francisco et al. (2019a; 2019b) observaram que a vulnerabilidade foi muito alta e alta devido ao baixo LTP dos solos normalmente mais rasos e declivosos e aos Luvisolos Crômicos quando rasos, declivosos e abruptos quando apresentam caráter vértico. Estes solos também apresentaram alta susceptibilidade à erosão hídrica (K), o que faz elevar o potencial natural de erosão (PNE), mesmo com o baixo potencial erosivo das chuvas (R) e do relevo plano a suave ondulado das terras da bacia (S). Estes resultados são concordantes com as observações dos trabalhos realizados na região (CHAVES et al., 2004; 2015; FRANCISCO et al., 2017) e com o que se pode constatar do quadro natural atual da degradação da região semiárida do Cariri Paraibano.

A classe média do grau de vulnerabilidade à erosão dos solos se apresenta em 27,89% (15.747,42 km<sup>2</sup>) da área com valores médios do PNE e com LTP baixo a muito baixo. O PNE é influenciado pela média declividade (S) e erosividade (R) e erodibilidade média a alta (K), e sob a influência do LTP da classe baixa a muito baixa. Esta classe de vulnerabilidade ocorre em sua maioria sob os Argissolos e os Luvisolos em forma difusa por toda a área. De acordo com Crepani et al. (2001), os solos considerados com grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável abrangem as classes dos Argissolos, Planossolos e Luvisolos.

Conforme Jacomine (2009), os Argissolos são constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alético. O horizonte B

textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico. Já os Luvisolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação de bases elevada, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E. Apresentam diversos horizontes superficiais, exceto A chernozêmico e horizonte hístico. Em que estes, de acordo com Cavalcante et al. (2005), a mecanização agrícola é severamente limitada não só pelo relevo, que varia de ondulado a forte ondulado, como também pela pequena espessura destes solos e grande susceptibilidade à erosão. No caso de utilização agrícola, faz-se necessária, principalmente, a escolha de áreas de menor declividade, tomando algumas medidas como: controle da erosão, considerando-se também que a limitação pela falta d'água é forte. Sua utilização deve ser dirigida no sentido da pecuária e os trechos mais acidentados da área devem ser mantidos com vegetação natural.

Os Argissolos localizados na região semiárida, tais como Patos e Santa Terezinha, de clima semiárido quente onde se verificam índices elevados de evaporação e baixas e irregulares precipitações pluviométricas. Em face deste aspecto, o uso agrícola destes solos é fortemente limitado pela falta d'água. Além disso, são muito susceptíveis à erosão e apresentam pedregosidade superficial e muitas vezes dentro do horizonte A1, que dificultam a mecanização. São solos que, de um modo geral, apresentam fertilidade natural alta, porém, os teores de matéria orgânica e os valores de fósforo são predominantemente baixos. Culturas muito resistentes a um longo período seco, como o algodão, devem ser feitas racionalmente. Sugere-se os cultivos de subsistência (milho, feijão e fava) procurando selecionar variedades de ciclo mais curto.

Na região do agreste e litoral os Argissolos são cultivados com cana-de-açúcar, isto se verifica nas zonas canavieiras próximas dos municípios de Sapé e Juripiranga. Outras áreas são cultivadas com fruticultura e culturas de subsistência. Práticas agrícolas racionais como adubações, medidas conservacionistas e irrigação, aumentam consideravelmente a produtividade das áreas destes.

Matos (2015), determinando a vulnerabilidade à erosão hídrica com base na EUPS na bacia Alto Paraopeba-MG, observou que a classe média se encontra na região de ocorrência de Cambissolos, que apresenta maior erodibilidade entre os existentes na área de estudo. Lago et al. (2009) estimando a vulnerabilidade natural a erosão da Região do Baixo Paraíba Maranhense, localizada no litoral, observaram que as áreas de vulnerabilidade média em 48,98% estão localizadas principalmente sobre os solos do tipo Plintossolo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Planossolos.

Quanto as classes baixa à muito baixa do grau de vulnerabilidade à erosão dos solos, estas apresentam-se em 22.071,62 km<sup>2</sup> (39,09%), predominantemente em áreas com declividade (S) baixa em áreas mais planas, com erodibilidade (K) entre as classes baixa a média em região de menor pluviosidade e consequentemente com erosividade baixa (R). Estes fatores interferem nos resultados devido os valores de LTP apresentarem-se nas classes alta e muito alta, resultando em menor grau de vulnerabilidade. Estes se localizam nos contrafortes de Princesa divisa com Pernambuco, sob o Planalto da Borborema e no Agreste e Litoral. Estas áreas ocorrem em sua maioria sob os Argissolos, Latossolos e Planossolos.

Os Latossolos são constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações do material constitutivo. São virtualmente desprovidos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e tem capacidade de troca de cátions da fração argila, inferior a 17 cmol/kg de argila sem correção para carbono. Já os Planossolos são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B, imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta (JACOMINE, 2009).

Os Planossolos Háplicos são usados em grande parte com pecuária, aproveitando-se para isso os campos antrópicos, que são utilizados para pastagens. Já os Nátricos, o seu aproveitamento dos solos da região é feito com pecuária extensiva, usando-se para isto a própria vegetação natural. As limitações pela falta d'água são muito fortes. Também constituem importantes limitações ao uso agrícola destes solos, os elevados teores em sódio trocável e más condições físicas nos horizontes subsuperficiais, principalmente do Bt. São solos inaptos para agricultura (CAVALCANTE et al., 2005).

Para as classes muito baixa e baixa, Francisco et al. (2013a), afirmam que o principal fator contribuinte é a classe muito baixa e baixa de declividade das terras. Sales (2015) avaliando o Potencial de erosão no núcleo de desertificação de Irauçuba, Ceará, estimada por meio dos parâmetros da EUPS, verificou que apresenta 81,7% das terras apresentam-se nas classes muito baixa e baixa devido os terrenos serem planos e haver pouca ocorrência de chuvas.

Gonçalves e Nogueira (2007), avaliando a predisposição à erosão na microbacia do rio Aracatiçu-CE, identificaram em geral baixa ou muito baixa, isto devido estar localizada na depressão Sertaneja, de baixa declividade, com solos menos erodíveis, como o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura que varia de média a argilosa. Resultado similar a este trabalho. Lima et al. (2021) observaram que, a fisionomia dos ambientes presentes no Estado do Ceará, apresentam grande diversidade, com alta vulnerabilidade aos processos erosivos, e outros com riscos mínimos.

Em comparação com a análise que poderia ser feita pelo modelo da Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978) este trabalho não se considerou os fatores de cobertura do solo e de práticas conservacionistas. Outro aspecto não considerado nesta modelagem é o fator tempo.

Na Tabela 23, da análise estatística descritiva das variáveis, observam-se os valores mínimos e máximos encontradas na variável PNE entre 8 e 33.672 com uma mediana em 10.289. A variável Fator R é a que apresenta a maior mediana entre as demais, seguida da variável Fator K.

Tabela 23. Análise descritiva dos parâmetros

Variável	Min.	1.º Quart.	Mediana	3.º Quart.	Max.	Alcance	Desvio Padrão	Curtose	Erro Padrão
Fator R	1.633	1.901	13.559	17.468	21.906	20.272	-0,07	-2,14	4.107,45
Fator K	1.531	10.710	11.501	15.204	17.521	15.989	-0,55	-1,46	2.736,4
Fator S	4.023	4.502	9.803	12.838	25.301	21.278	0,63	-1,45	3.871,76
PNE	8	66	10.289	12.430	33.672	33.664	0,64	-1,42	6.150,36
LTP	5.136	5.484	6.964	18.543	20.340	15.203	0,29	-2,22	3.352,6
GVES	9.072	9.576	10.365	11.706	15.747	6.675	0,74	-1,35	1.199,04

O desvio padrão apresenta menores valores para a variável LTP e os maiores desvios apresentam-se na variável GVES. A média apresenta valores não muito próximos para ambos as variáveis, o que levar a deduzir que não se trata de uma distribuição simétrica.

Pelos dados estatísticos, observa-se pela Figura 25 que as menores variações de amplitude se apresentam nas variáveis Fator R e LTP. Com relação à variabilidade entre classes observadas por meio das caixas interquartílicas do gráfico boxplot para cada variável, observa-se que o Fator K apresenta menor variabilidade.

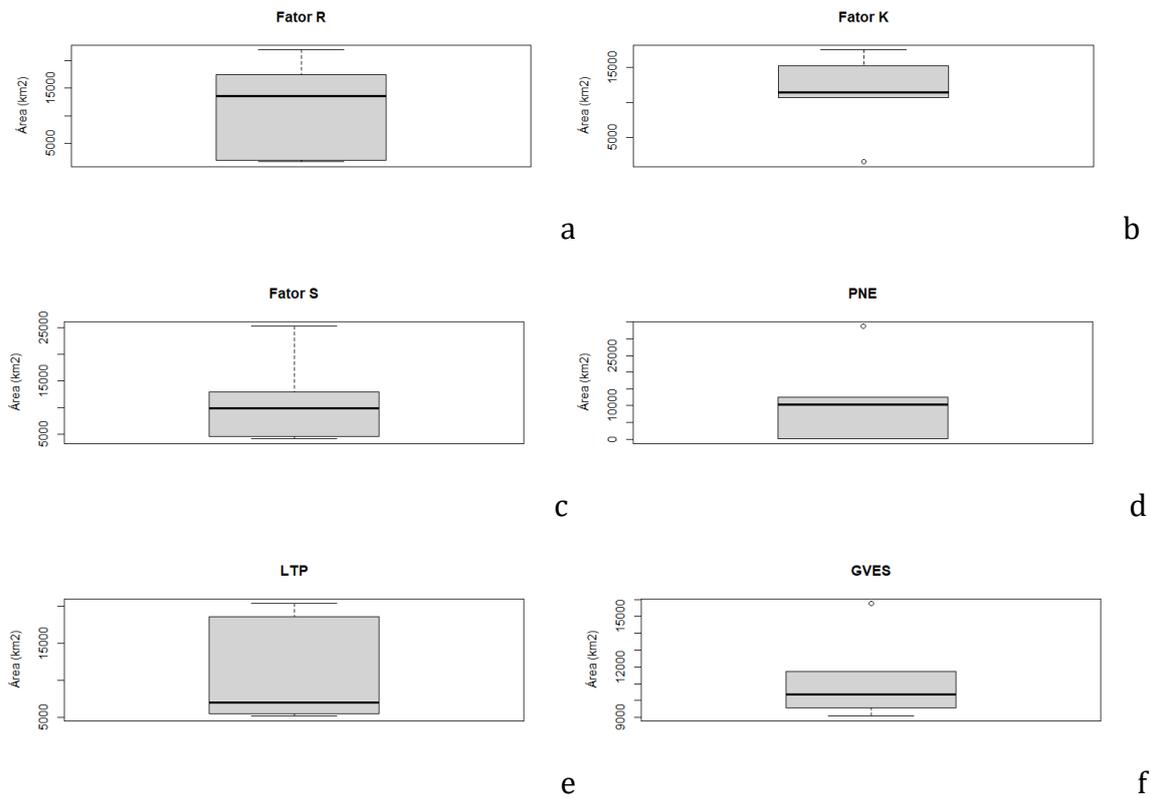


Figura 25. Boxplot das variáveis. a) Fator R, b) Fator K, c) Fator S, d) PNE, e) LTP, f) GVES.

No Teste de normalidade observa-se que a distribuição apresenta irregularidades nas variáveis Fator S, PNE e GVES. Observa-se que a maior regularidade apresenta no Fator R (Figura 26).

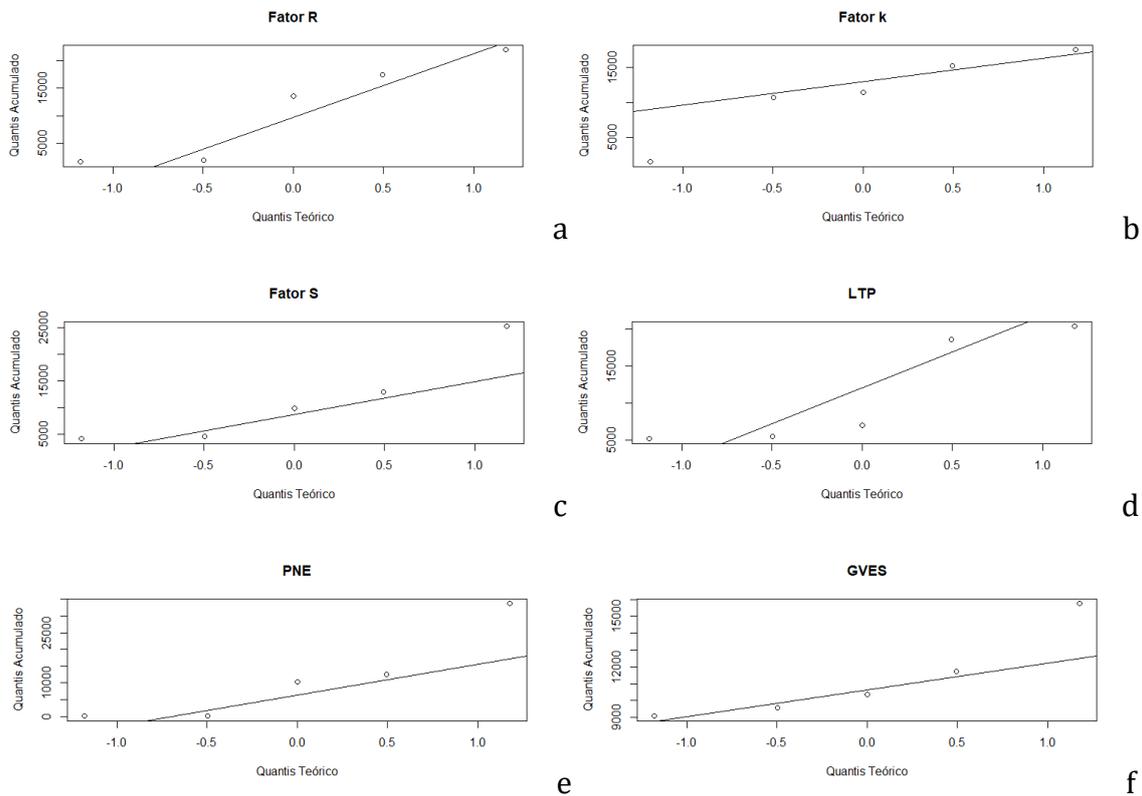


Figura 26. Boxplot das variáveis. a) Fator R, b) Fator K, c) Fator S, d) PNE, e) LTP, f) GVES.

Na Tabela 24 pode-se observar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Lilliefors e Jarque-Bera foram semelhantes entre si, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados.

Tabela 24. Testes de normalidade

Variável\Teste	Shapiro-Wilk		Lilliefors		Jarque Bera	
	W	p-valor	D	p-valor	X-quadrado	p-valor
Fator R	0,87995	0,3091	0,24677	0,4041	0,57874	0,7487
Fator K	0,91595	0,5042	0,26201	0,3117	0,56312	0,7546
Fator S	0,87043	0,2682	0,22920	0,5243	0,72173	0,6971
PNE	0,85002	0,1946	0,26705	0,2842	0,73008	0,6942
LTP	0,78177	0,0570	0,31823	0,0979	0,79274	0,6728
GVES	0,85244	0,2023	0,23878	0,4573	0,93455	0,6267

Para todas as variáveis os testes de Shapiro-Wilk e Jarque-Bera são semelhantes entre si, e o teste Lilliefors apresenta-se com menores valores, mas proporcional entre os demais testes. O teste de Jarque-Bera apresenta diferença entre todas as variáveis e os demais testes.



# CONCLUSÃO

O uso da USLE na modelagem em ambiente SIG permitiu a discretização da variabilidade espacial dos fatores que determinam as perdas no Estado da Paraíba.

O uso de método de determinação indireta da erodibilidade dos solos apresentou resultados satisfatórios.

A simulação da estimativa de perdas de solos pela modelagem em cenários de práticas conservacionistas apresentou resultados satisfatórios e realistas. Os métodos de determinação dos fatores apresentaram boa precisão no modelo utilizado.

A profundidade efetiva e o gradiente textural foram os mais relacionados às variações da erodibilidade dos solos.

O Fator C apresentou a maior influência nos resultados de perdas de solo seguido do Fator K. O maior desvio padrão ocorreu na modelagem de práticas conservacionistas de morro abaixo.

Os resultados demonstraram que o solo, por influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos, constituiu-se no principal fator natural relacionado à erosão, juntamente com a cobertura, o relevo complexo, e o uso e manejo em que as áreas podem ser submetidas.

Embora apresente limitações relativas à escala de trabalho, o uso de técnicas do geoprocessamento e krigagem permitiu estimar e mapear os limites de tolerância de perdas dos solos, o potencial natural de erosão das terras e o grau de vulnerabilidade à erosão dos solos.

A tolerância de perda de solo seguiu a ordem dos Latossolos > Cambissolos > Argissolos > Luvisolos > Planossolos > Neossolos > Vertissolos devido a influência dos parâmetros como profundidade efetiva do solo e relação textural entre horizontes B e A.

Das 1.053 unidades de mapeamento do limite de tolerância de perdas dos solos apresentou na classe muito alta a média de 20,08 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e estão associados aos Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Planossolos e aos Gleissolos.

A classe alta apresentou perdas média de  $10,56 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  sob os Argissolos em 68 unidades de mapeamento. O limite de tolerância de perdas na classe média foi de  $6,59 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  distribuídas em 64 unidades de mapeamento sob os Luvisolos.

A classe baixa ocorreu nos Luvisolos, Planossolos e nos Neossolos distribuídos em 389 unidades de mapeamento com o limite de tolerância de perdas médio de  $3,90 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; na classe muito baixa teve sua ocorrência sob os Vertissolos, Planossolos Nátricos e Neossolos pouco profundos com média de  $1,64 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de tolerância de perdas de solo distribuídos em 362 unidades de mapeamento.

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  $250 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 59,63% da área e estão associados aos Neossolos, Luvisolos e Argissolos.

O Fator K mesmo se apresentando na classe muita alta observada pelos Fatores R e S levando o LTP e o Grau de Vulnerabilidade a Erosão dos Solos (GVES) apresentar-se em boa proporção na classe média suavizando o resultado.

A distribuição apresentou simétrica, a curtose indicou uma distribuição platicúrtica, onde as maiores variações de amplitude e distribuição irregular apresentaram-se nas variáveis Fator K e LTP. A maior regularidade foi no Fator R em que o teste de Shapiro-Wilk apresentou a menor diferença entre si. Pôde-se afirmar que existe a similaridade e concordância entre os testes utilizados neste trabalho e levou a aceitar a normalidade dos dados.

Apesar de suas limitações, as informações geradas neste estudo do conhecimento da variabilidade espacial da vulnerabilidade poderão ser utilizadas em tomadas de decisão e servir de suporte para o planejamento conservacionista podendo com isso desenvolver estratégias de manejo e conservação do solo e da água e com isso aumentar a capacidade produtiva, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 25 de março de 2011.
- ALBUQUERQUE, A. W. DE. 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, 1997.
- ALBUQUERQUE, A. W. DE; M. FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.153-160, 2005.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; CATANEO, A. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvisol em Sumé-PB. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.121-128, 2001.
- AMARAL, B. S. D. DO. Análise espacial das perdas de solo no Estado da Paraíba. 59f. Monografia (Bacharelado em Geografia). Geociências do Centro de Ciências Exatas da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.
- AMARAL, B. S. D. DO; SILVA, R. M. DA; SILVA, A. M.; SANTOS, C. A. G. Análise espacial do potencial natural de erosão dos solos no Estado da Paraíba. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 13, 2016, Aracajú. Anais...Aracajú, 2016.
- AMARAL, B. S. D.; DANTAS, J. S.; SILVA, R. M.; CARVALHO NETO, J. F. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física, v.7, n.4, p.691-701, 2014.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. Engenharia Agrícola, v.30, p.1046-1049, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. C. DE; MARQUES, F. A.; AMARAL, A. J. DO; SANTOS, J. C. P. DOS; OLIVEIRA NETO, M. B. DE; PARAHYBA, R. DA B. V.; JACOMINE, P. K. T. Evolução histórica da pedologia na região Nordeste do Brasil. In: SOUZA, H. A. DE; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. (Org). Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste. EMBRAPA, 2021. 595p.

- ARRAES, C. L. Estimativa da perda de solo e expectativa de erosão na Microbacia Córrego do Tijuco-SP. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2009.
- AVANZI, J. C.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; GIONGO, M. V.; PONTES, L. M. Modeling of the rainfall and R-factor for Tocantins State, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.43, e0190047, 2019.
- BABAK, O.; DEUTSCH, C. V. Statistical approach to inverse distance interpolation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v.23, n.5, p.543-553, 2009.
- BAGIO, B.; BERTOL, I.; WOLSCHICK, N. H.; SCHNEIDERS, D.; SANTOS, M. A. N. DOS. Water erosion in different slope lengths on bare soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.41, e0160132, 2016.
- BAI, Z. G.; DENT, D. L.; OLSSON, L.; SCHAEPMAN, M. E. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*, v.24, n.3, p.223-234, 2008.
- BARBOSA, R. B. G.; RIBEIRO, G. DO N.; FRANCISCO, P. R. M.; ARRUDA, D. A. DE; ALMEIDA, R. DE S.; LEITE, N. M. G. Geotecnologias aplicadas ao estudo da cobertura vegetal em bacia hidrográfica: uso do software "R". *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, v.7, n.1, p.33-42, 2021.
- BARBOSA, R. S.; MARQUES, J.; BARRON, V.; MARTINS, M. V.; SIQUEIRA, D. S.; PELUCO, R. G.; SILVA, L. S. Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in northeastern São Paulo state, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v.78, n.1, p.12, 2019.
- BATISTA, G. M. DE M.; EID, N. J. Metodologia para elaboração de diagnósticos ambientais de perda laminar de solos, por meio do geoprocessamento. Estudo de caso: Distrito Federal. *Sociedade & Natureza*, v.10, n.19, p.57-77, 1998.
- BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, v.139, p.90-97, 2007.
- BERTOL, I. et al. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.2, p.455-464, 2002.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.657-668, 2000.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola*, v.58, p.555-560, 2001.

- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N. P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.2, p.455-464, 2002.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 4a. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 335p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação dos solos*. 7a. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 335p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 9a. ed. São Paulo: Ícone, 2014. 355p.
- BLANCO, H.; LAL, R. *Principles of soil conservation and management*. New York: Springer, 2008.
- BORGES, K. M. R. *Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos*. Brasília. 91f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília. Brasília, 2009.
- BRAGA, A. C. F. M.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O.; NOBRE, P. 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*, v.498, n.1, p.46-58, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. *Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba*. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).
- BRAZ, A. M.; SANTOS, K. P. M. G.; JULIO, V. A. Uso do geoprocessamento para avaliação da susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Ypê - Ilha Solteira/SP. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v.10, n.12, 2014.
- BRITO, J. L. S.; LIMA, S. DO C.; SHIKI, S.; MOREIRA, M. R. Uso do geoprocessamento na estimativa de perda de solos por erosão laminar em Iraí de Minas-MG. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 9, 1998, Santos. Anais...Santos, 1998.
- BRITO, T. P. DE; SANTOS, D.; FRANCISCO, P. R. M.; OLIVEIRA, F. P. DE; SILVINO, G. DA S.; SANTOS, A. C. DOS. Geostatistics applied to estimate soil erodibility in the Vaca Brava watershed, Areia-PB. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.12, n.6, p.349-358, 2022.
- BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.26, p.1-5, 2004.
- CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; FIGUEIRA, S. B.; INÁCIO, E. S. B.; SILVA, M. D. R. O. Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco. *Revista Caatinga*, v.22, p.75-80, 2009.
- CARDOZO, G.; ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; POLETO, C. Aplicação da USLE na predição de perdas de solo em uma sub-bacia hidrográfica na região metropolitana de Porto Alegre-RS. In:

Congresso Internacional de Hidrossedimentologia, 1, 2015, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre, 2015.

CARVALHO JÚNIOR, W.; CHAGAS, C. S.; FIDALGO, E. C. C.; PEDREIRA, B. C. C. G.; BHERING, S. B.; PEREIRA, N. R. Zoneamento Agroecológico da Bacia Hidrográfica Guapi Macacu. Projeto entre Serras e Águas – Plano de Manejo da APA da Bacia do Rio Macacu. Instituto Bioatlântica, 2009.

CARVALHO, E. M.; PINTO, S. A. F.; SEPE, P. M.; ROSSETTI, L. A. F. G. 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, 2010.

CARVALHO, E. M.; PINTO, S. DOS A. F. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia do Córrego João Dias, Aquidauana, MS. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3, 2010, Cáceres. Anais...Cáceres, 2010.

CARVALHO, H. J. M.; RIBEIRO, C. M.; SANTOS, M. A.; CARVALHO, P. V. R. Estimativa de perda de solo por erosão laminar em Lucena-PB. REGNE, v.5, n. Esp., p.57-68, 2019.

CASSOL, E. A.; SILVA, T. S.; ELTZ, F. L. F.; LEVIEN, R. Soil erodibility under natural rainfall conditions as the K factor of the universal soil loss equation and application of the nomograph for a subtropical Ultisol. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.42, e0170262, 2018.

CAVALCANTE, F. de S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no Estado da Paraíba. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v.4, n.8, p.01-10, 2005.

CECÍLIO, R. A.; RODRIGUEZ, R. G.; BAENA, L. G. N.; OLIVEIRA, F. G.; PRUSKI, F. F. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). Revista do Verde, v.4, n.2, p.39-45, 2009.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Ed.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996.

CHAVES, I. B.; FRANCISCO, P. R. M.; MACÊDO, M. L. A. DE. Precipitação e erosividade das chuvas do Estado da Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 8, Goiânia, 2021. Anais...Goiânia, 2021.

CHAVES, I. B.; SLACK, D. C.; GUERTIN, D. P.; LOPES, V. L. 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...Santa Maria, 2004.

- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da degradação das terras de caatinga. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2013.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2013.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE. 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, 2010.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; CHAVES, L. H. G. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. *Revista Caatinga*, v.28, n.1, p.183-195, 2015.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; CHAVES, L. H. G. Mapeamento da vulnerabilidade à desertificação das terras da bacia do Taperoá-PB. In: Reunião Nordestina de Ciência do Solo, 1, 2013, Areia. Anais...Areia, 2013.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; CHAVES, L. H. G.; Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. *Revista Caatinga*, v.28, n.1, p.183-195, 2015.
- CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1999. 236p.
- COELHO, E. A. C. 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, 1994.
- COHN, A. S.; BHATTARAI, N.; CAMPOLO, J.; CROMPTON, O.; DRALLE, D.; DUNCAN, J.; THOMPSON, S. Forest loss in Brazil increases maximum temperatures within 50 km. *Environmental Research Letters*, v.14, n.8, 2019.
- COSTA, S. G. F.; SILVA, R. M. Potencial natural e antrópico de erosão na bacia experimental do Riacho Guaraíra. *Cadernos do Logepa*, v.7, n.1, p.72-91, 2012.
- COSTA, T. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P.; UZÊDA, M. C. Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2005.
- COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. DE O.; XAVIER, A. C.; ZANETTI, S. S.; MOREIRA, M. C. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.8, n.1, p.01-09, 2014.

- COUTO, B. O. C. Análise de erodibilidade em taludes com horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos. 124f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2015.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. 124p.
- CROUZEILLES, R.; SANTIAMI, E.; ROSA, M.; PUGLIESE, L.; BRANCALION P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; METZGER, J. P.; CALMON, M.; SCARAMUZZA, C. A. DE M.; MATSUMOTO, M. H.; PADOVEZI, A.; BENINI, R. DE M.; CHAVES, R. B.; METZKER, T.; FERNANDES, R. B.; SCARANO, F. R.; SCHMITT, J.; LUI, G.; PINTO, S. There is hope for achieving ambitious Atlantic Forest restoration commitments. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v.17, n.2, p.80-83, 2019.
- CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, p.539-548, 2012.
- CUTILLAS, P. P.; BARBERÁ, G. G.; GARCÍA, C. C. Evaluación de la erosionabilidad (factor k) y su variabilidad espacial en relación con los usos del suelo. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, n.23, p.71-96, 2019.
- DAMASCENO, G. F. Estimativa da erosão na microbacia do córrego do Gambá no município de Monte Alto, SP. 92f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2014.
- DEMARCHI, J. C. Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2012.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Estimativa de perda de solos por erosão laminar e linear na bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas (SP), nos anos 1962 e 2011. *Revista Ra'eGa*, v.46, p.110-131, 2019.
- DEMARIA, I. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.263-270, 1997.
- DENARDIN, J. E. 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, 1990.

- DIAS, E. R.; SILVA, R. M. DA. Estimativa do risco à erosão do solo no município de Lucena – Paraíba. *Caminhos de Geografia*, v.16, n.54, p.192-204, 2015.
- DORNELLAS, P. DA C.; SEABRA, V. DA S. XAVIER, R. A. SILVA, R. M. DA. Vulnerabilidade à erosão dos solos na bacia do Alto Rio Paraíba, Semiárido Paraibano. In: *Simpósio Brasileiro de Geografia Física*, 18, 2019, Fortaleza. *Anais...Fortaleza*, 2019.
- DORNELLAS, P. DA C.; SEABRA, V. DA S.; XAVIER, R. A.; SILVA, R. M. DA. Estimativa de perdas de solo na bacia do Alto rio Paraíba, região semiárida do Estado da Paraíba. *Revista OKARA*, v.11, n.2, p.338-350, 2017.
- DUARTE, S. M. A.; BARBOSA, M. P. Estudo dos recursos naturais e as potencialidades no semiárido, estado da Paraíba. *Revista Engenharia Ambiental*, v.6, n.3, p.168-189, 2009.
- ELTZ, F. L. P.; COGO, N. P.; MIELNICZUK, J.; Perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico (São Jerônimo). I. Resultados do primeiro ano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.1, p.123-127, 1977.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento pedológico detalhado (Escala 1:5.000) e estoque de carbono orgânico do solo da Floresta Nacional Restinga de Cabedelo, municípios Cabedelo e João Pessoa, PB. (Org). COELHO, M. R. et al. Rio de Janeiro, 2017. 122p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Santos et al. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 359p.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: novembro de 2022.
- FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini-RS. *Ciência e Natura*, v.38 n.1, p.156–163, 2016.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soil Erosion by water: some measures for its control on cultivated lands. Rome: FAO, 1965. 284p.
- FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. DE; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos

dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-PI-MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.7, n.2, p.73-85, 2006.

FERNANDES, M. R. DE M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. DE; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. *Floresta Ambient.*, v.22, n.4, p.472-482, 2015.

FERREIRA, A. DA S.; FRANSISCO, C. N. Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para avaliação de processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu RJ. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14, 2009, Natal. Anais...Natal, 2009.

FERRO, V. Deducing the USLE mathematical structure by dimensional analysis and self-similarity theory. *Biosystems Engineering*, v.106, n.2, p.216-220, 2010.

FIORESE, C. H. U. 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*, v.10, n.22, p.221-230, 2021.

FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais. Oficina de Texto*. São Paulo, 2002. 97p.

FRANCISCO, P. R. M. *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, 2010.

FRANCISCO, P. R. M. *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, 2013a.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B. Modelo para estimativa da vulnerabilidade à desertificação. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.32, n.2, p.37-50, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2013a.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.28, n.1, p.30-35, 2013.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Mapeamento das Terras para Mecanização Agrícola - Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.2, p.233-249, 2012.

- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.3, p.676-693, 2012.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; MORAES NETO, J. M. DE; LIMA, V. L. A. DE; BARRETO, H. T. S. Erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas, 2019a.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; MORAES NETO, J. M. de; LIMA, V. L. A. de; BARRETO, H. T. S. 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, 2019b.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; OLIVEIRA, F. P. de; SANTOS, D.; BARRETO, H. T. S. 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, 2019c.
- FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D.; MATOS, R. M. DE. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015.
- FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. DO N.; MORAES NETO, J. M. DE. Mapeamento da deterioração ambiental em área de vegetação de caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.2, p.304-318, 2014.
- FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. *Climatologia do Estado da Paraíba*. 1ª ed. Campina Grande: EDUFCG, 2017. 75p.
- FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; BRITO, T. P. DE. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo em bacia hidrográfica na Região do Brejo Paraibano. *Revista Geama*, v.8, n.1, p.33-42, 2022.
- FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; BORGES, I. M. S.; PESSOA, D. DE S. Space-temporal dynamics of coverage and use of agricultural settlement land in semi-arid region. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.12, n.5, 359-368, 2022.
- FRANCISCO; P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; BRANDÃO, Z. N.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, n.2, p.271-286, 2013.
- FRANCISCO; P. R. M.; SANTOS, D.; BRITO, T. P. DE. 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*, v.8, n.1, p.33-42, 2022.

- FREIRE, P. M. R. Produção de sedimentos na microbacia do córrego seco em Tabapuã-SP. 78f. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2020.
- GARCIA RODRIGUEZ, J. L.; SUÁREZ, M. C. G. Historical review of topographical factor LS, of water erosion models. *Aqua-LAC*, v.2, n.2, p.56-61, 2010.
- GIANEZINI, M.; SALDÍAS, R.; CEOLIN, A. C.; BRANDÃO, F. S.; DIAS, E. A.; RUVIARO, C. F. Geotecnologia aplicada ao agronegócio: conceitos, pesquisa e oferta. *Revista Economia & Tecnologia*, v.8, n.2, p.167-174, 2012.
- GOMES, D. J. C.; SILVA, L. P. DA; LIMA, A.M.M. DE. Vulnerabilidade ambiental na sub-bacia do Médio Tapajós (AM-PA). *Revista Geonorte*, v.11, p.71-89, 2020.
- GOMES, V. DOS S.; DANTAS, W. M.; BARBOSA, M. A. DA S.; VENDRUSCOLO, J.; ABRANTES, E. G. DE; FÉLIX, V. J. DE L. Tolerância à perda de solo para o município de Guarabira-PB. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal. Anais...Natal, 2015.
- GONÇALVES, F. C. A.; NOGUEIRA, J. F. Elaboração do mapa de predisposição à erosão na microbacia do rio Aracatiaçu (CE) utilizando técnicas de geoprocessamento. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, Sobral, v. 8/9, n.1, p.81-93, 2006/2007.
- GONÇALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; GONÇALVES, D. K. O.; VIEIRA, E. N. DE L. Análise temporal do índice de vegetação no semiárido paraibano através do geoprocessamento. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 9, 2014, São Luís. Anais...São Luís, 2014a.
- GONÇALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; MORAES NETO, J. M. Identificação de áreas degradadas na região semiárida utilizando imagens multiespectral e NDVI. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2013.
- GONÇALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; MORAES NETO, J. M.; ARAGÃO, K. P. Análise temporal da vegetação de caatinga utilizando NDVI. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 1, 2014, Teresina. Anais...Teresina, 2014b.
- GONÇALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; VIEIRA, E. N. DE L. Identificação de áreas degradadas através de técnicas de detecção de mudanças. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 8, 2013, Salvador. Anais...Salvador, 2013b.
- GORELICK, N.; GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v.202, p.18-27, 2016.
- GOTTSTEIN, P.; BORGES JUNIOR, M. A.; ARANTES, E. J. Uso de sistema de informação geográfica para determinação do potencial erosivo de bacias hidrográficas: estudo de caso na

- bacia do Rio do Campo/PR. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.10, p.352-367, 2019.
- GRAÇA, C. H.; PASSIG, F. H.; KELNIAR, A. R.; PIZA, M. A.; CARVALHO, K. Q.; ARANTES, E. J. Multitemporal analysis of estimated soil loss for the river Mourão watershed, Paraná-Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v.75, p.120-130, 2015.
- GUEDES, F. C.; VIEGAS, J. A.; AGUIAR, M. C. P. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, na cidade de João Monlevade – MG. *Research, Society and Development*, v.11, n.7, e40411730094, 2022.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. DA. *Geomorfologia e meio ambiente*. 10. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2011.
- GURGEL, R. S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. DE; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CÂMARA, J. F. A.; SOBRINHO, D. A.; MARTINS, É. DE S.; BRAGA, A. R. DOS S. Identificação das áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos no município de Riachão das Neves – BA. *Geografia Ensino & Pesquisa*, v.15, n.3, 2011.
- 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.
- JACOMINE, P. K. T. A nova classificação Brasileira de solos. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica*, v.5-6, p.161-179, 2009.
- JARDIM, A. M. DA R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. DO N.; SILVA, M. J. DA; MORAIS, J. E. F.; SILVA, T. G. F. DA. Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.2, n.3, p.186-193, 2017.
- JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review*, v.55, p.163-172, 1987.
- KAZMIERCZAK, M. L.; SEABRA, F. B. Índice de susceptibilidade de degradação ambiental [ISDA] em áreas do cerrado paulista. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, 2007, Florianópolis. *Anais...Florianópolis*, 2007.
- KENDALL, M. A.; STUART, A. *The advanced theory of statistics*. 2nd ed. Londres: Charles Griffin, 1967.

- LAGO, W. J. S.; ARAÚJO, E. P. DE; TELES, M. G. L. Vulnerabilidade natural à erosão na Região do Baixo Parnaíba-MA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais...Natal, 2014.
- LAGROTTI, C. A. A. Planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim, SP: Estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do Jardim. 115f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.
- LEITE JUNIOR, G. P. Análise da precipitação e da erosividade das chuvas de Patos-PB. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 1998.
- LEITE, J. A. Características físicas e fator de erodibilidade de quatro solos do município de São Mamede-PB. 97f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 1979.
- LEITE, J. A.; CAVALCANTE, L. F.; MEDINA, B. F.; MONTENEGRO, J. O. Fator de erodibilidade de quatro solos do município São Mamede–PB, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.17, n.2, p.319-321, 1982.
- LEMOS, P. O.; LUTZ, J. F. Soil crusting and some factors affecting it. *Soil Science of Society of American Proceeding*, n.21, p.485-491, 1957.
- LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v.62, n.318, p.399-402, 1967.
- LIMA, M. T. V.; OLIVEIRA, C. W.; MOURA-FÉ, M. M. Análise multicritério em geoprocessamento como contribuição ao estudo da vulnerabilidade à erosão no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.5, p.3156-3172, 2021.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. (Boletim Técnico, 27).
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, v.51, p.189-196, 1992.
- LOPES, F. B. L.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Agroambiente On-line*, v.5, n.2, p.88-96, 2011.
- LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; CRESPO, G. C. Utilização da Equação Universal de Perda de Solo Revisada para estudos de bacias hidrográficas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20, 2013, Bento Gonçalves. Anais...Bento Gonçalves, 2013.
- LU, G. Y.; WONG, D. W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, v.34, n.9, p.1044-1055, 2008.

- MACHADO, M. L.; ALVES, J. S.; GOMES, I.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R.; NAIME, U. J. Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (resultados parciais). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais...Natal, 2009.
- MAFRA, R. C.; PINHEIRO, M. M. F.; CICERELLI, R. E.; OSCO, L. P.; ALVES, M. R.; RAMOS, A. P. M. Validação de mapa de vulnerabilidade a erosão por aprendizagem de máquina. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.2, p.564-575, 2020.
- MAIA NETO, F. F. Mapeamento da erosividade das chuvas da Paraíba. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 1999.
- MAIA NETO, F. F.; CHAVES, I. B. 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, 1997.
- MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, C. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, v.24, p.1335-1340, 2002.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias. Coleção 2 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2017. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 30 de abril de 2017.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias. Relatório Anual do Desmatamento no Brasil. 2019. 49p. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/relatorios/MBI-relatoriodesmatamento-2019-FINAL5.pdf>.
- MARANHÃO, K. U. DE A.; SILVA, R. M. DA. Variabilidade espacial de perdas de solo e risco de erosão no município de Monteiro, Estado da Paraíba. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 11, 2014, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2014.
- MARGOLIS, E.; SILVA, A. B.; JACQUES, F. O. Determinação dos fatores da Equação Universal das Perdas de Solo para as condições de Caruaru (PE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.165-169, 1985.

- MARQUES, J. F.; LOMBARDI NETO, F. Erosão do solo: indicadores físicos e econômicos. In: MARQUES, J. F.; SKORUPA, L. A.; FERRAZ, J. M. G. (Ed.). Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. 281p.
- MARQUES, J. J. G. S. M. et al. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.3, p.447-456, 1997b.
- MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. 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*, v.21, n.3, p.427-434, 1997a.
- MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; SÁ, M. A. C. de. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.3, p.447-456, 1997.
- MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, n.3, p.322-327, 2011.
- MATA, C. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; CARVALHO, A. A. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva na bacia do rio Urucuia (MG) por meio da Equação Universal de Perda de Solos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.8, n.2, p.57-71, 2007.
- MATOS, T. V. S. Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na equação universal de perda de solo (USLE). 116f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.
- MCCOOL, D. K. et al. Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, v.32, n.5, p.1571-1576, 1989.
- MCCOOL, D. K. et al. Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, v.30, n.5, p.1387-1396, 1987.
- MEDEIROS, G. O. R.; GIAROLLA, A.; SAMPAIO, G.; MARINHO, M. A. Diagnosis of the accelerated soil erosion in São Paulo State (Brazil) by the soil lifetime index methodology. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, e0150498, 2016.
- MEDEIROS, I. C. de; SILVA, R. M. DA. Análise da erosão hídrica na região semiárida da Paraíba usando o modelo SWAT acoplado a um SIG. *Geociências*, v.33, n.3, p.457-471, 2014.

- MELLO, G. DE; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.315-322, 2006.
- MELO, A. C. A.; ALBUQUERQUE, L. B.; VILELA, M. F. Relação do uso e da ocupação do município de Águas Lindas e seus impactos ambientais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.2, p.634-649, 2021.
- MENDES, B. V. Desertificação do semi-árido. In: *Seminário sobre Desertificação no Nordeste*, Recife, 1986. Trabalhos apresentados. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente e Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), 1986. p.111-115.
- MENDONÇA, H. F. P.; PATERLINI, E. M.; OLIVEIRA, F. S.; BARBOSA, R. P.; SANTOS, A. R. Estimativa da perda de solo por erosão laminar para o município de Iconha, Estado do Espírito Santo. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, n.19, p.1027-1038, 2014.
- MENDONÇA, I. F. C. DE. Adequação do uso agrícola e estimativa da degradação ambiental das terras da microbacia hidrográfica do Riacho Una, Sapé-PB. 172f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.
- MOLNAR, D. K.; JULIÉN, P. Y. Estimation of upland erosion using GIS. *Computers & Geosciences*, v.24, n.2, p.183-192, 1998.
- MORAIS, R. C. DE S.; SALES, M. C. L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. *Caderno de Geografia*, v.27, n. Esp. 1, p.84-105, 2017.
- MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. 3. ed. Londres: Blackwell Science, 2015. 304p.
- MUSGRAVE, G. W. The quantitative evaluation of factors in water erosion- A first approximation. *Journal Soil Water Conservation*, v.2, p.133-138, 1947.
- NASCIMENTO, R. J. DE A.; OLIVEIRA, F. P. DE; SANTOS, D.; BEIRIGO, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; NASCIMENTO, R. R. DE A. Selamento superficial e formação de crosta em solos representativos do Estado da Paraíba. *Colloquium Agrariae*, v.15, n.3, p.79-93, 2019.
- NICOLAU, R. DE F. Vulnerabilidade da paisagem à perda de solos da bacia hidrográfica do rio do Peixe - Goiás. *Caminhos de Geografia*, v.19, p.285-296, 2018.
- NÓBREGA, C.; COSTA, A. L. C. Estudo da vulnerabilidade à erosão na alta bacia do Rio Jacaré Pepira utilizando modelo baseado na Equação Universal de Perda de Solo. *HOLOS Environment*, v.8 n.1, p.1-17, 2008.

- NOGUEIRA, F. P. 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, 2000.
- NOVO, E. M. L. DE M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2008. 308p.
- NUNES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, F. P.; NUNES, J. C. Tolerância de perda de solo por erosão na região sul do Amazonas. *Ambiência Guarapuava*, v.8, p.859-868, 2012.
- OLIVEIRA, F. P. DE. Determinação da tolerância de perdas por erosão para as principais ordens de solos do Estado da Paraíba. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2004.
- OLIVEIRA, F. P. DE; SANTOS, D.; SILVA, I. F. DA; SILVA, M. L. N. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.8, n.2, p.60-71, 2008.
- OLIVEIRA, M. R. L.; SOUSA, T. C.; ARAÚJO, J. C. DE. Aspectos fito-geotécnicos de erosão no Estado do Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 2016, Aracajú. Anais...Aracajú, 2016.
- OLIVEIRA, P. T. S. de; RODRIGUES, D. B. B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Estimativa do fator topográfico da USLE a partir de três algoritmos. *Ambi-Água*, v.5, n.2, p.217-225, 2010.
- OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão. *Geociências*, v.28, n.4, p.417-424, 2009.
- OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, v.100, p.139-147, 2012.
- PAES-SILVA, A. P. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude Namorado no Cariri paraibano. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2002.
- PAES-SILVA, A. P.; CHAVES, I. B.; SAMPAIO, V. S. B. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude Namorado no Cariri Oriental Paraibano. *Agropecuária Técnica*, v.24, n.1, p.47-59, 2003.
- PAIVA, J. B. de; PAIVA, E. M. C. D. de. (orgs). *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Ed. Rev. Porto Alegre: ABRH, 2003.
- PALM, C.; SANCHEZ, P.; AHAMED, S.; AWITI, A. Soils: a contemporary perspective. *Annual Rev. Environ. Resour.*, v.32, p.99-129, 2007.



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. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, v.7, e4175, 2017.

PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletroConsult Ltda., 1978. 448p.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.

PARANHOS FILHO, A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A. LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do Rio Taquarizinho-MS. *Boletim Paranaense de Geociências*, n.52, p.49-59, 2003.

PATRÍCIO, M. DA C. M.; FRANCISCO, P. R. M.; DANTAS, R. T. Análise da degradação ambiental do município de Cabaceiras-PB. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2013.

PEREIRA, M. R. D.; SANTOS, A. A. DOS; SOUSA, S. B. DE. 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*, v.6, n.10, p.100-112, 2017.

PIMENTA, M. T. Diretrizes para a aplicação da equação universal de perda dos solos em SIG, Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K. INAG/DSRH (Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos). Lisboa, Portugal, 1998.

PINTO, S. A. F. Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo. Rio Claro: IGCE/UNESP, 1995. 136p.

PRESTES, V.; CORRÊA, E. A. Potencial natural de erosão no alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, RS. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 18, 2019, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2019.

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. 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*, v.7, n.3, p.36-48, 2021.

REGINATTO, G. M. P.; MACIEL, C. B.; CORSEUIL, C. W.; GRANDO, Â.; MACCARINI, M.; HIGASHI, R. A. DOS R.; FEILSTRECKER, L. B.; SCABURRI JÚNIOR, R. Avaliação das perdas de solo utilizando o modelo RUSLE integrado a um SIG. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 19, 2011, Maceió. Anais...Maceió, 2011.

REINING, L. Erosion in Andean hillside farming: characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping systems in the southern central cordillera of Colombia. *Margraf, Hohenhein Tropical Agricultural Series*, 1, 1992.

REIS, J. G. Desertificação no Nordeste. Recife: SUDENE, 1988. 40p.

REIS, T. E.; COSTA, V. C. Análise da vulnerabilidade na zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca (MG), com o uso de SIG. *Geosul*, v.32, p.77-96, 2017.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (Cord.). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA, 1997. (Agriculture Handbook n.703).

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil Water Conservance*, v.46, p.30-33, 1991.

RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GALINDO, I. C. L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: *Tópicos em Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.6, p.497, p.413-459, 2009.

RESENDE, M. Aplicação de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Informe Agropecuário*, n.128, p.3-18, 1985.

RESENDE, M. Bruno-Não-Cálcico: interpretação de um perfil. Mossoró: ESAM/FGD/UFV, 1983. 165p. (Coleção Mossoroense, 218).

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. da G. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, 2007, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2007.

RIBEIRO, S. L. Aplicação do sistema de informação geográfica nacional ao estudo de erosão dos solos por meio do modelo EUPS na microbacia hidrográfica do Ribeirão Araquá-SP. *Dissertação (Mestrado em Geografia)*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000.

RIOS, M. L. Vulnerabilidade à erosão nos compartimentos morfopedológicos da microbacia do Córrego do Coxo/Jacobina-BA. 159f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

RISSE, L. M.; NEARING, A. D. N.; LAFLEN, J. M. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, v.57, p.825-833, 1993.

RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo-MG. *Geociências*, v.36, n.3, p.531-542, 2017.

RÖMKENS, M. J. M.; YOUNG, R. A.; POESEN, J. W. A.; MCCOOL, D. K.; EL-SWAIFY, S. A.; BRADFORD, J. M. Soil erodibility factor (K). In: RENARD, K. G. et al. (Eds.) *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, Washington: US Department of Agriculture, 1997. p.65-99. (Agriculture Handbook, n. 703).

ROSA, M.; SHIMBO, J. Z.; AZEVEDO, T. MapBiomias - Mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas. In: BARBOSA, L. M. (Org). *Restauração Ecológica: Desafio do processo frente à crise ambiental*. São Paulo: Instituto de Botânica. 2019. 278p.

RUHOFF, A. L.; SOUZA, B. S. P. E; GIOTTO, E.; PEREIRA, R. S. Avaliação dos processos erosivos através da equação universal de perdas de solos, implementada com algoritmos em LEGAL. *Geomática*, v.1, n.1, p.12-22, 2006.

SÁ, T. F. F. DE; COSTA FILHO, J. F. DA; FRANCISCO, P. R. M.; BRAGA JUNIOR, J. M. Sistema de informações geográficas (SIG) para a gestão ambiental de bacias hidrográficas. In: *Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, 3, 2012, Recife. Anais... Recife, 2012.

SÁ, T. F. F. DE; FRANCISCO, P. R. M.; COSTA FILHO, J. F. DA. Bacias hidrográficas e gestão ambiental integrada através de SIG. In: *Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, 8, 2012, Campina Grande. Anais...Campina Grande, 2012.

SALES, J. F. S. DE; SANTOS, D.; OLIVEIRA, F. P. DE; FRANCISCO; P. R. M. Estimativa de perdas de solo por erosão em propriedades rurais registradas no cadastro ambiental rural no município de Alagoa Nova-PB. *Revista de la Facultad de Agronomía*, v.121, n.2, p.1-13, 2023.

SALES, M. C. L. Potencial de erosão das terras no núcleo de desertificação de Irauçuba estimada por meio dos parâmetros da EUPS. In: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L.



Monitoramento da desertificação em Irauçuba. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2015. p.65-86.

SÁNCHEZ, R. R. GIS - Based upland erosion modeling, geovisualization and grid size effects on erosion simulations with CASC2D-SED. 29f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Colorado State University, 2002.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. Okara, v.1, n.1, p.16-32, 2007.

SANTOS, R. M. Environmental Analysis and temporal and spatial patterns of land use changes in São Félix do Araguaia municipality (MT, Brazil). Tese (Doutorado em Recursos Naturais em Ecologia). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; MIQUELLUTI, D. J.; COGO, N. P. Water erosion in a long-term soil management experiment with a Humic Cambisol. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.41, e0160383, 2017.

SERIO, J.; COSTA, C. A. G.; TEIXEIRA, A. S.; ORTEGA, E. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. Revista Acadêmica Ciência Agrária e Ambiental, v.6, n.2, p.213-221, 2008.

SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, v.52, n.3/4, p.591-611, 1965.

SILVA, A. M. da. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, v.8, p.5-14, 2008.

SILVA, A. M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, n.6, p.1811-1820, 2009.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. 2ª ed. rev. e amp. Editora Rima, São Carlos, 2007. 153p.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; JUNIOR CESAR AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, n.6, p.1811-1820, 2009.

SILVA, A. S. A. DA; STOŠIĆ, B. D.; MENEZES, R. S. C.; SINGH, V. P. Comparison of interpolation methods for spatial distribution of monthly precipitation in the state of Pernambuco, Brazil. Journal of Hydrologic Engineering, v.24, n.3, 2019.

- SILVA, D. C. C.; FILHO, J. L. A.; SALES, J. C. A.; LOURENCO, R. W. Identification of areas with soil loss above the tolerable using NDVI for calculating the C factor of USLE. *Raega*, v.42, p.72-85, 2017.
- SILVA, E. A.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SÁ, I. B.; DUARTE, S. M. A. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta-PE. *Floresta*, v.43, n.4, p.611-620, 2013.
- SILVA, F. G. B.; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Predição da perda de solo na Fazenda Canchim-SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.2, p.141-148, 2010.
- SILVA, I. DE F. DA; CAMPOS FILHO, O. R; ANDRADE, A. P. DE; COÊLHO, E. A. C; DINIZ, E. J. Influência do cultivo isolado e do consórcio sobre as perdas de solo e água numa Terra Roxa estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, p.111- 115, 1989.
- SILVA, L. F. DA. A construção de um índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISA): uma proposta Metodológica. 214f. Tese (Doutorado). Instituto de Economia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.
- SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, M. M.; LOMBARDI NETO, F. Métodos estimativos da erodibilidade para Latossolos brasileiros: comparação e avaliação. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 1997.
- SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação de erodibilidade de latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUAX, P.; CURTI, N.; LIMA, J. M. 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*, v.21, p.131-137, 1997.
- SILVA, P. L.; ANDRADE, L. N. P. S.; LEANDRO, G. R. S.; SOUZA, A. S. Evolução dos processos erosivos e aspectos granulométricos em um sistema de voçoroca no Distrito de Vila Aparecida, município de Cáceres – Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.10, p.627-640, 2017.
- SILVA, R. M. P.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. Alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do rio Espinharas de 2000 a 2010. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.2, p.202-209, 2014.



- SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, J. F. C. B.C. Estimativa das perdas de solo na bacia experimental do rio Guaraíra a partir da EUPS em ambiente SIG. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17, 2007, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre, 2007.
- SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, V. C. L.; SILVA, L. P. Erosivity, surface runoff, and soil erosion estimation using GIS-coupled runoff-erosion model in the Mamuaba catchment, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*. Wageningen: Springer, v.185, p.8977-8990, 2013.
- SILVA, V. A.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. S.; REGO, N. A. C. Uso da terra e perda de solo na bacia hidrográfica do rio Colônia, Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.3, p.310-315, 2011.
- SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. *Revista de Geografia (UFPE)*, v.31, p.66-87, 2014.
- SILVA, V. C. DA. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do rio Paracatu. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.33, n.1, p.29-34, 2003.
- SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, n.34, v.3, p.147-159, 2004.
- SIMÕES, H. D. G. Modelação espacial da erosão hídrica do solo aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Dissertação (Mestrado). Escola Superior Agrária. Instituto Politécnico de Castelo Branco. Portugal, 2013.
- SMITH, D. D.; WHITT, D. M. Estimating soil losses from field areas. *Agric. Eng.*, v.29, p.394–396, 1948.
- SOUSA, F. R. C. DE; PAULA, D. P. Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.20, n.3, p.1-17, 2019.
- STAMEY, W. L.; SMITH, R. M. A conservation definition of erosion tolerance. *Soil Science*, v.97, p.183-186, 1964.
- STEIN, D. P.; DONZELLI, P.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4, 1987, Marília. Anais...Marília, 1987.
- STRAUSS, P.; KLAGHOFER, E. Scale considerations for the estimation of soil erosion by water in Austria. In: OECD Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators, 2003, Rome. Anais...Roma, 2003.



- TÁVORA, M. R. P.; SILVA, J. R. C.; MOREIRA, E. G. S. Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba, Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.59-62, 1985.
- TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S.; AANCHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51 n.12, p.1918-1928, 2016.
- TRINDADE, L. DOS S. 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, 2018.
- UHDE, L. T.; BONUMÁ, N. B.; DALBIANCO, L.; MINELLA, J. P. G.; REICHERT, J. M.; VOLGELMANN, E. S.; BARROS, C. A. P.; RODRIGUES, R. Aplicação da RUSLE combinada ao SIG para estimativa de perdas de solo em uma vertente na depressão central do RS. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32, 2009, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2009.
- VALÉRIO FILHO, M. 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, 1994.
- VALLE JUNIOR, R. F. Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2008.
- VAREJÃO-SILVA, M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR, M. J. N.; NIETZCHE, M. H.; SILVA, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande, 1984.
- VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G. A.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M. Determinação de sequências culturais em microbacia hidrográfica para caracterização do Fator C da EUPS, utilizando fotografia aérea. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 1996, Salvador. Anais...Salvador, 1996.
- VIDAL, M. M.; BANKS-LEITE, C.; TAMBOSI, L. R.; HASUI, É.; DEVELEY, P. F.; SILVA, W. R.; METZGER, J. P. Predicting the non-linear collapse of plant–frugivore networks due to habitat loss. *Ecography*, v.42, n.10, p.1765-1776, 2019.
- VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, S. O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial das chuvas no Estado do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.2, p.125-135, 2014.

- VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Erosão Hídrica, em três momentos da cultura do milho, influenciada por métodos de preparo do solo e semeadura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.565-574, 2014.
- WARD, A. D.; ELLIOT, W. J. *Environmental Hidrology*. New York: Lewis Publishers, 1995.
- WEI, H.; ZHAO, W. The optimal estimation method for K value of soil erodibility: A case study in Ansai Watershed. *China Soil and Water Conservation Science*, v.15, p.52-65, 2017.
- WEILER, E. B.; CRUZ, J. C.; REICHERT, J. M.; SANTOS, F. D.; MANTOVANELLI, B. C.; FANTINEL, R. A.; TAMIOSSO, M. F.; BAUMHARDT, E. USLE como ferramenta para planejamento de uso do solo: estudo de caso Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. In: AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. (Eds.). *A Preservação do Meio Ambiente e o Desenvolvimento Sustentável*. Atena Editora, p.249-262. 2019.
- WEILER, E. B.; CRUZ, J. C.; TAMIOSSO, M. F.; REICHERT, J. M.; MANTOVANELLI, B. C.; BROETTO, T.; SANTOS, F. D.; FANTINEL, R. A. Estratégia metodológica para zoneamento pelo potencial de perda de solo em uma bacia hidrográfica no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.4, p.2391-2402, 2021.
- WEILL, M. A. M.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçú (SP). In: *Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, 7, 2001, Goiânia. Anais... Goiânia, 2001.
- WISCHMEIER, W. H. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, v.23, n.2, p.246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. W. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.26, n.5, p.189-193, 1971.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, DC: USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain*. Washington, DC: ARS/USDA, 1965.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall Energy and its Relationships to Soil Loss. *Amer. Geoph. Union Transactions*, v.39, n.2, p.285-291, 1958.
- XAVIER, A. P. C.; SILVA, A. M.; MEDEIROS, I. C. DE; SILVA, R. M. DA. Avaliação da influência do uso e ocupação do solo nas perdas de solo na bacia do rio Mamuaba, Estado da Paraíba. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 20, 2013, Bento Gonçalves. Anais...Bento Gonçalves, 2013.



XAVIER, A. P. C.; SILVA, A. M.; SILVA, R. M. Mudanças espaço-temporais da variabilidade da precipitação e perdas de solo na bacia do rio Mamuaba, Brasil. *Caderno Logepa*, v.8, n.1-2, p.79-102, 2013.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. *Geoestatística: conceitos e aplicações*. 1a. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.

ZHANG, K. L.; SHU, A. P.; XU, X.; YANG, Q. K.; FOBU, Y. O. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. *Journal of Arid Environments*, v.72, n.6, p.1002-1011, 2008.

## ANEXOS

Anexo 1. Cultivo de tomate em área plana- município de Juazeirinho.



Anexo 2. Plantio de Laranja em relevo plano a suave ondulado.



Anexo 3. Agricultura irrigada em área plana.



Anexo 4. Agricultura irrigada em relevo suave ondulado.



**Anexo 5. Capim cultivado em baixo – área de drenagem.**



**Anexo 6. Área de pastoreio de caprinos na Caatinga.**



**Anexo 7. Área de exploração de mineração - Cariri.**



**Anexo 8. Plantio de palma - Cariri.**



**Anexo 9. Cultivo de mandioca em nível em relevo ondulado – região do Brejo.**



**Anexo 10. Plantio morro abaixo em relevo forte ondulado – região do Brejo.**



**Anexo 11. Cultivo de cana de açúcar em nível em relevo forte ondulado – região do Brejo.**



**Anexo 12. Área suave ondulada com cultura do feijão – Agreste.**



Anexo 13. Área de piscicultura – região do Agreste.



Anexo 14. Cultivo de banana em relevo forte ondulado- região do Brejo.



Anexo 15. Luvissole – município de Malta - Sertão



Anexo 16. Vertissolo – município de Sousa - Sertão.



**Anexo 17. Luvissole – município de São João do Cariri - Cariri.**



**Anexo 18. Argissolo Amarelo – município de Cuité - Seridó.**



**Anexo 19. Argissolo Vermelho – município de Areia – Brejo Serrano.**



**Anexo 20. Luvissole – Cariri.**



Anexo 21. Neossolo Regolítico – Cariri.



Anexo 22. Argissolo Vermelho – região do Brejo.



### Anexo 23. Neossolos Litólicos entre Pilões e Cuitegi.





## CURRICULUM DOS AUTORES

**Djail Santos:** Engenheiro Agrônomo (UENP-Campus Luiz Meneghel, 1990), Mestre em Solos e Nutrição de Plantas (UFLA, 1993) e Doutor em Crop and Soil Science (Michigan State University, MSU, 1998). Professor Titular do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), com atuação na área de Manejo e Conservação de Solo e Água. Foi Diretor do CCA/UFPB por dois mandatos (2009-2013 e 2013-2017), Coordenador do PPG em Ciência do Solo (2020-2021), Coordenador do Curso de Agronomia (2006-2009) e Assessor de Pesquisa (2002-2006) do Campus II. É Docente Permanente do PPG em Ciência do Solo e do PPG em Agronomia, ministrando as disciplinas de Manejo e Conservação do Solo, e de Sistemas de Produção Orgânicos e Convencionais. Foi membro titular do Conselho Universitário (CONSUNI-UFPB) nos períodos de 2009-2017 e 2019-2021. Atuou como membro do Conselho Estadual de Desenvolvimento Rural Sustentável (CEDRS-PB) e do Conselho Técnico-Administrativo da EMATER-PB. Tem experiência na execução e coordenação de diversos programas e projetos vinculados a: CNPq, PNPd/CAPES, SECAD/MEC (Conexões de Saberes), SESu/MEC (PROEXT) e INCRA/MDA (PRONERA). Tem atuação em ensino, pesquisa e extensão com ênfase em manejo e conservação de solo e água, qualidade do solo, aptidão agrícola das terras, sistemas de produção e agricultura sustentável.

**santosdjail@gmail.com**

 <https://orcid.org/0000-0003-2207-3115>

**Flávio Pereira de Oliveira:** Engenheiro Agrônomo pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB, 2004), Mestre em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal de Lavras (UFLA, 2006) e Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2010). É professor Associado do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (DSER/CCA/UFPB), responsável pelas disciplinas de Física do Solo e Manejo Ecológico do Solo. É professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS/UFPB) e participa da orientação de estudantes e leciona a disciplina Física do Solo. Atualmente é Chefe do Laboratório de Física do Solo do Setor de Ciência do Solo do DSER/CCA/UFPB e Assessor de Pesquisa do DSER/CCA/UFPB. Tem atuação na área de Ensino, Pesquisa e Extensão, com ênfase nos seguintes temas: Atributos Físicos do Solo; Modelagem do Escoamento Superficial e da Erosão Hídrica; Perdas de Solo, Água e Nutrientes, Potencial Erosivo da Chuva; Tolerância de Perdas por Erosão Hídrica e Planejamento Agropecuário e Ambiental.

**flavio.oliveira@academico.ufpb.br**

 <https://orcid.org/0000-0001-7968-6145>

**George do Nascimento Ribeiro:** Possui graduação em Agronomia (2003) e mestrado em Manejo e Conservação de Solo e Água (2006) pela Universidade Federal da Paraíba, doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014) e Pós-doutorado em Fontes Alternativas de Energias pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da UFCG (LABFREN/UFCG). Atualmente é professor da Universidade Federal de Campina Grande/CDSA/Campus Sumé. Tem experiência nas áreas de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto (recursos naturais,

geotecnologias e mapeamento temático) e em Energias Renováveis (produção de hidrogênio como fonte de combustível para fuel cell e energia solar - placas fotovoltaicas).

**george@ufcg.edu.br**

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>

**Gypson Dutra Junqueira Ayres:** Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (2005). Mestre em Engenharia Agrícola em Armazenamento e Construção Rural pela Universidade Federal de Campina Grande (2020). Doutorando em Engenharia Agrícola no PPGEA da UFCG. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Projetos no Banco do Brasil. Atualmente trabalha com temas vinculados a Construção Rural e Armazenamento, Automação e Monitoramento a Distância.

**fgypsond@gmail.com**

 <https://orcid.org/0000-0001-5260-1682>

**Paulo Roberto Megna Francisco:** Atuou como Pesquisador de Desenvolvimento Científico Regional de Interiorização na Universidade Federal da Paraíba-UFPB-CCA/Areia. Graduado como Engenharia Agrícola pela UFCG. Doutorando em Recursos Naturais (Concentração em Engenharia de Recursos Naturais). Possui Doutorado em Engenharia Agrícola (Concentração em Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2013), Mestrado em Agronomia - Manejo de Solo e Água (Concentração - Agricultura Sustentável e Planejamento Ambiental) pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Areia (2010) e também Graduado como Tecnólogo Agrícola (Mecanização) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Bauru (1990). Tem experiência na Docência na área de Agronomia, com ênfase em Mecanização Agrícola, Máquinas e Implementos Agrícolas e Máquinas Agrozootécnicas. Atua como pesquisador, colaborador e orientador em projetos junto à UFPB Campus de Areia, UFCG - Campus de Campina Grande, Campus de Sumé e Campus Patos. Tem experiência em classificação técnica e mapeamento de solos, aptidão agrícola e pedoclimática, capacidade de uso do solo, geoprocessamento, cartografia, sensoriamento remoto, geoestatística, geração de balanço hídrico e índices climáticos. Prestou consultoria para o INCRA/PB na realização de PDAs. Foi Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do CONTECC. Editor Chefe da Editora Portal Tecnológico-EPTEC. Atualmente colabora como organizador e na comissão científica do CNMA-Poços de Caldas.

**paulomegna@gmail.com**

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>

**Raimundo Calixto Martins Rodrigues:** Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (2003), Mestrado em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão (2008), Doutorado Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, na Universidade Federal de Campina Grande UFCG (2022). Professor vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão UEMA, Campus Paulo VI em São Luís - MA.

**calixto\_80@hotmail.com**

 <https://orcid.org/0000-0001-8437-7857>

**Viviane Farias Silva:** Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2013), mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2015) e doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2017). Pós Doutora em

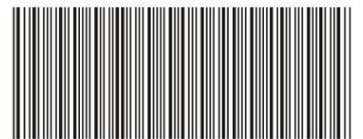


*Estimativa da Perdas de Solos do Estado da Paraíba e Modelagem da Vulnerabilidade*

*Recursos Naturais (2017-2019). Professora do Magistério superior da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal na área de ciências básicas, Engenharia e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande.*

***viviane.farias@professor.ufcg.edu.br***

 <https://orcid.org/0000-0002-5891-0328>



978-65-01-28815-4