



**ERODIBILIDADE  
E EROSÃO  
DOS SOLOS DA  
MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA  
DE VACA BRAVA**



***ERODIBILIDADE E  
EROSÃO DOS SOLOS  
DA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA  
DE VACA BRAVA***



## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Er68 Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava /Francisco et al.

— Campina Grande: EPTEC, 2022.

90 f.: il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-00-65443-1

1. Erosão potencial. 2. Modelos de predição de erosão. 3. Variabilidade espacial. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Brito, Thiago Pereira de. III. Santos, Djail. IV. Oliveira, Flávio Pereira de. V. Santos, Antônio Clementino dos. VI. Título.

CDU 630

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).

2023 by Eptec

Copyright © Eptec

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Eptec

Direitos para esta edição cedidos à Eptec pelos autores.

Open access publication by Eptec

## Créditos das Imagens da capa e dos capítulos

Djail Santos

### 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 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)

Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Paulo Roberto Megna Francisco  
Thiago Pereira de Brito  
Djail Santos  
Flávio Pereira de Oliveira  
Antônio Clementino dos Santos

# ***ERODIBILIDADE E EROSÃO DOS SOLOS DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DE VACA BRAVA***



1.a Edição  
Campina Grande-PB  
2023

## Realização



## Apoio



# SUMÁRIO

<b>HISTÓRICO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DE VACA BRAVA NA REGIÃO DO BREJO - PARAÍBA .....</b>	<b>6</b>
<b>POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO E LIMITE DE TOLERÂNCIA DE PERDAS DE SOLO .....</b>	<b>10</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>11</b>
<b>Material e Métodos .....</b>	<b>13</b>
<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>24</b>
<b>Conclusão.....</b>	<b>35</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>36</b>
<b>ESTIMATIVA DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA ..</b>	<b>45</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>46</b>
<b>Material e Métodos .....</b>	<b>48</b>
<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>59</b>
<b>Conclusão.....</b>	<b>70</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>70</b>
<b>BANCO DE IMAGENS.....</b>	<b>76</b>
<b>Curriculum dos Autores.....</b>	<b>87</b>

Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



# ***HISTÓRICO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DE VACA BRAVA NA REGIÃO DO BREJO- PARAÍBA***

A barragem do manancial Vaca Brava foi inaugurada em 1939, para suprir a necessidade de água da cidade de Campina Grande, além de outros núcleos populacionais ao longo da adutora, num contingente de mais de 100 mil usuários. Na atualidade, até o colapso em 2015, supria as cidades que fazem parte do semiárido brasileiro: Remígio, Esperança e os distritos de São Miguel, Cepilho e Lagoa do Mato, totalizando mais de 55 mil usuários (AESAs, 2015).

Na Bacia de Vaca Brava está inserida parte do Parque Estadual Mata do Pau-Ferro (PEMPF) que presta importante serviço ambiental ao preservar a microbacia e sua nascente, sendo caracterizada como uma importante fonte de abastecimento de água para as atividades agropecuárias dos municípios (LEITE et al., 2014).

O PEMPf é a maior Unidade de Conservação de proteção integral gerenciada pela SUDEMA, formado por uma fitofisionomia de Mata Atlântica ameaçada, conhecida como Brejos de Altitude. Criada através do decreto nº 14.832/1992 como reserva ecológica com uma área de 607 ha a área é fruto da desapropriação pelo Governo do Estado da Paraíba dos engenhos. Quando houve o processo para a construção da Barragem de Vaca Brava, ali existiam vários engenhos tais como Cumbe, Escarlata, Panelas, Boa Vista, Flores e do Vaca Brava de Baixo. Em 2005 a UC foi recategorizada como Parque Estadual Mata do Pau-Ferro através do decreto nº 26.098/2005.

Conforme Silva (2007), a bacia hidrográfica da barragem de Vaca Brava apresenta uma área consideravelmente pequena, com aproximadamente 1.560 hectares, e uma área de bacia hidráulica de 36 hectares. É um patrimônio público histórico da Microrregião do Brejo Paraibano. Além de toda a população abastecida com a água da barragem, administrada pela Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). No ano de 2000 a área da bacia hidrográfica da barragem Vaca Brava abrigava um contingente de 755 habitantes que viviam em 143 imóveis rurais (CHAVES et al., 2000).

De acordo com dados da AESA (2023) o reservatório da bacia apresentou variação de volume com vários períodos de defluência na última década (Figura 1).



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

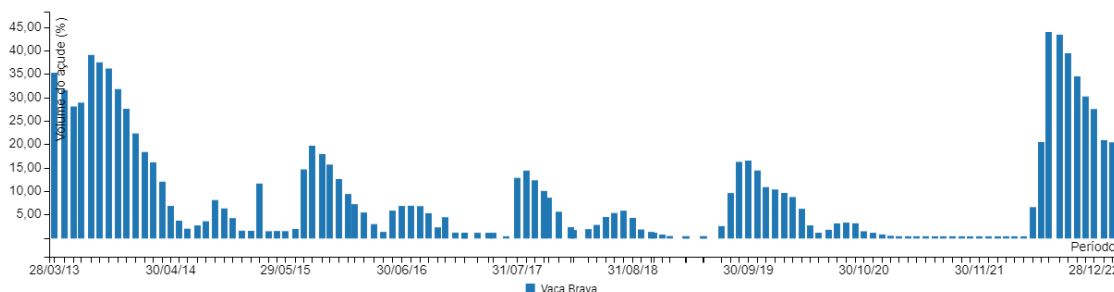


Figura 1. Volume do açude de Vaca Brava entre 2013/2023. Fonte: AESA (2023).

Vários pesquisadores vêm estudando a área em diversos temas como Simulação dos Fluxos de Água e de Energia por Soares et al. (2013), Santos e Salcedo (2010) quanto ao relevo e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal, Campos e Lima (2020) quanto ao Zoneamento Ambiental para o Parque Estadual Mata do Pau Ferro, quanto ao Assoreamento e das condições ambientais por Silva (2012), quanto a erodibilidade dos solos, Brito (2021).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas. 2005. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>. Acesso em: 21 de março de 2023.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas. 2023. Disponível em: [http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id\\_acude=3273](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=3273). Acesso em: 21 de março de 2023.
- BRITO, T. P. DE. Estimativa da erodibilidade dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava, Areia-PB, utilizando diferentes modelos. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2021.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

CAMPOS, J. O.; LIMA, V. R. P. DE. Proposta de Zoneamento Ambiental para o Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Paraíba, Brasil. *Physis Terrae*, v.2, n.1, p.19-46, 2020.

LEITE, R. S. F.; SANTOS, H. A. DOS; SILVA, T. C. F. DA. Importância da implementação do plano de manejo para a conservação do Parque Estadual Mata do Pau Ferro e microbacia de Vaca Brava, PB. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 12, 2014, Natal. Anais... Natal, 2014.

SANTOS, A. C. DOS; SALCEDO, I. H. Relevo e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal na bacia hidrográfica da represa Vaca Brava, Areia, PB. *Revista Árvore*, v.34, n.2, p.277-285, 2010.

SILVA, C. M. Degradação Ambiental na Reserva Ecológica Estadual da Mata do Pau Ferro – Areia /PB. 136f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2007.

SILVA, B. T. DA. Uso de geotecnologias no estudo do assoreamento e das condições ambientais da micro bacia de Vaca Brava. 82f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2012.

SOARES, W. DE A.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. DE S.; SOUZA, E. S. DE; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LIRA, C. A. B. DE O. Simulação dos fluxos de água e de energia na microbacia hidrográfica da represa Vaca Brava no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n.4, p.185-196, 2013.

Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



***POTENCIAL NATURAL DE  
EROSÃO E LIMITE DE  
TOLERÂNCIA DE PERDAS DE  
SOLO***

# INTRODUÇÃO

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 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; CARVALHO & PINTO, 2010). Segundo estes autores, as carências de informações sobre a capacidade de suporte do meio físico e a deficiência de uso de técnicas conservacionistas adequadas às limitações das terras, têm sido a causa principal dos desequilíbrios nos sistemas ambientais.

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. A estimativa de perdas de solo (A) é dada em megagrama

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

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).

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 erodibilidade do solo (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 (Fator S) 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 Zhang et al. (2008), Wei e Zhao (2017), Cutillas et al. (2019), Marquez et al. (1997), Silva et al. (2009). Francisco e Chaves (2017) afirmam que 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.

A Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra (LEGAL) realiza operações algébricas de mapas tanto em sentido matemático quanto cartográfico e espacial (FRANCISCO, 2010). É uma ferramenta que possibilita a realização de análises espaciais através de álgebra de mapas, podendo fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real (CÂMARA et al., 1996).

Portanto, este trabalho propõe estimar o limite de tolerância de perdas dos solos (LTP) da bacia Vaca Brava, e o potencial natural de erosão (PNE) utilizando os Fatores K, R e S.

## MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica da represa Vaca Brava localiza-se nos municípios de Areia e Remígio, na região do Brejo Paraibano, nos contrafortes do Planalto da Borborema (Figura 1a) com uma altitude média de 637 m e temperatura média anual de 24°C (SANTOS et al., 2004). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo As' tropical com chuvas de inverno com precipitação média anual de 1.400mm (ALVARES et al., 2013) e apresenta uma área de 14,043 km<sup>2</sup> (Figura 1b).

# Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

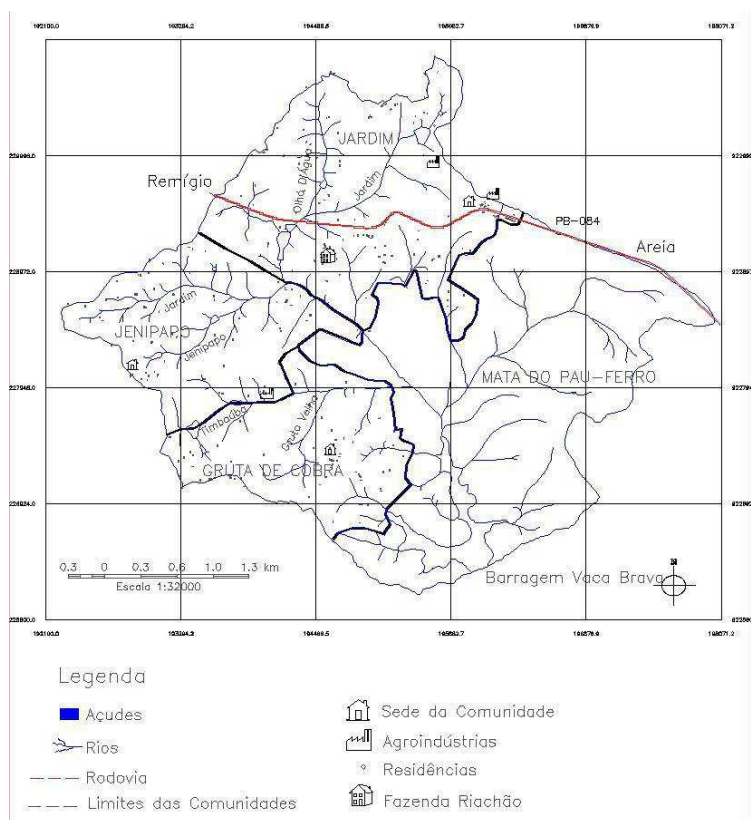
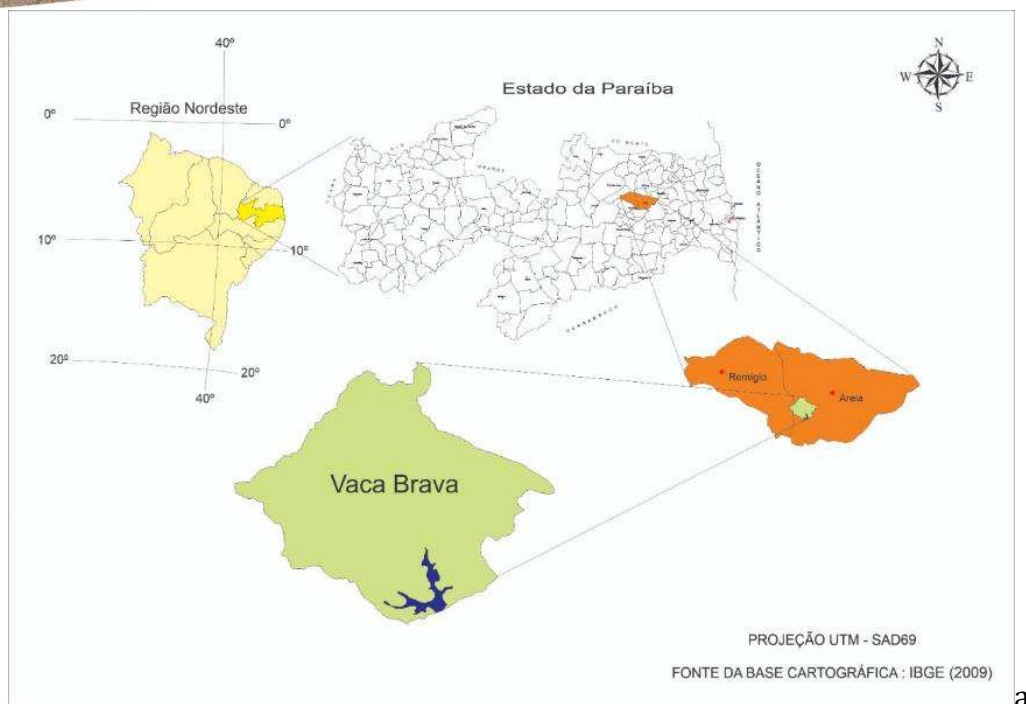


Figura 1. a) Localização da área de estudo; b) Mapa base da bacia Vaca Brava.

Fonte: a) Adaptado de IBGE (2009); b) Farias (2006).

A vegetação representativa da área de estudo é de porte florestal que se localiza inserida no Parque Estadual Mata do Pau-Ferro (ANDRADE & MACHADO, 2018) enquanto que na área sob uso antrópico, compreende por vegetação do tipo capoeira e por reflorestamento com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) como também áreas de uso agropecuário (capineira e roçado) (SANTOS, 2004).

Os solos predominantes de acordo com PARAIBA (2006) são o Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico Tb, com A proeminente, textura argilosa, fase floresta subcaducifólia, relevo ondulado e forte ondulado; Solos Litólicos Eutróficos + Afloramentos de Rocha; Latosol Vermelho Amarelo Distrófico textura média fase floresta subperenifólia relevo plano; e Solos Aluviais Eutróficos Ta, textura indiscriminada, fase floresta perenifólia de várzea, relevo plano (Figura 2). Atualmente reclassificados por Campos e Queiroz (2006) como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abruptico; Neossolo Litólico Eutrófico típicos; Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico, respectivamente (Figura 2).



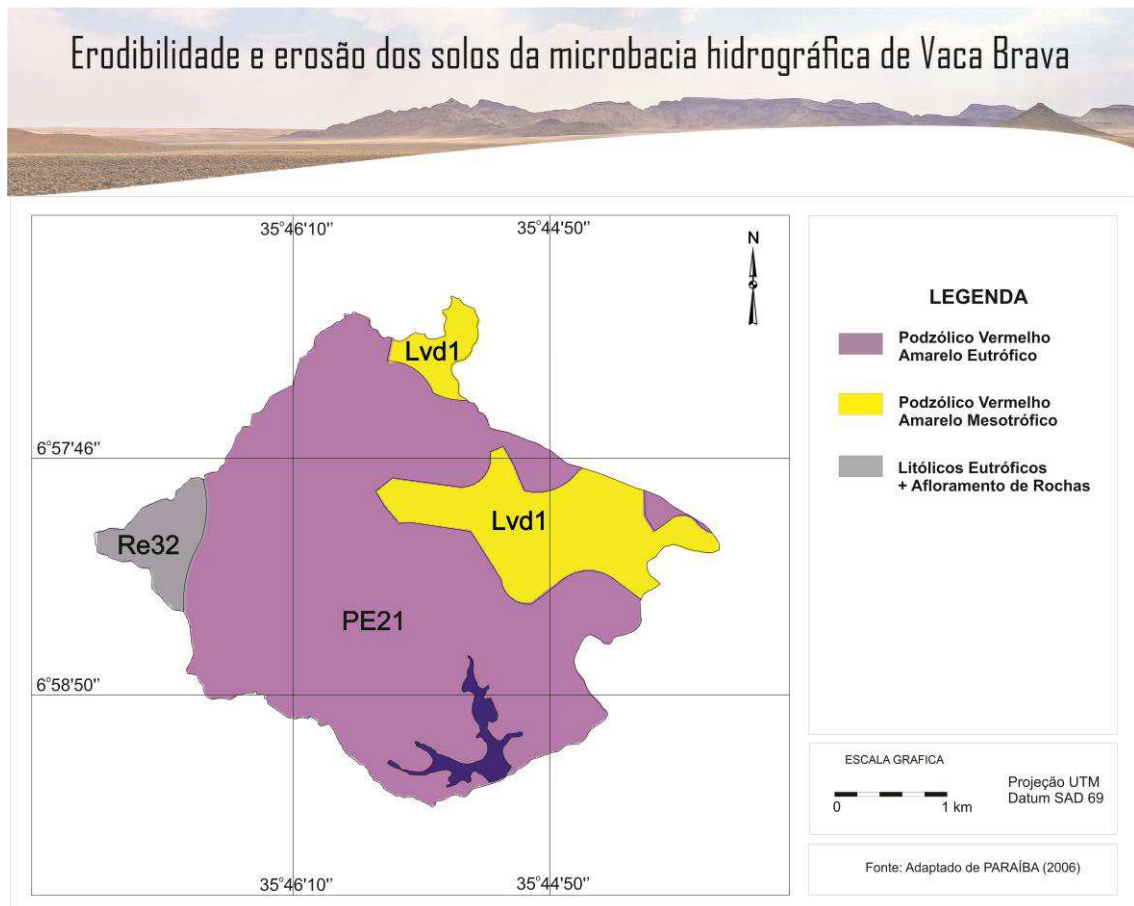


Figura 2. Mapa de solos da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

Neste trabalho foi adotada a metodologia utilizada por Francisco e Chaves (2017), onde para a elaboração do mapa de declividade foi utilizado um mosaico digital do SRTM dos quadrantes SB24ZB, SB24ZD da área de estudo e a partir deles foram geradas as curvas de nível com equidistância de 10 metros. Para gerar a grade triangular foi criada uma base de dados no programa SPRING 5.2 na projeção UTM/SAD69; em seguida foi realizado o fatiamento da grade triangular com o estabelecimento dos limites de classes de declive, procedendo-se o mapeamento em cinco classes (Tabela 1) (FRANCISCO, 2010).

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

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

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

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

Tabela 1. Classes de declividade

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Declive (%)</b>	<b>Classes de Risco</b>	<b>Fator S</b>
Plano	0-3	Muito Baixo	<0,273
Suave Ondulado	3-6	Baixo	<0,619
Moderadamente Ondulado	6-12	Médio	<1,403
Ondulado	12-20	Alto	<2,564
Forte Ondulado/Montanhoso	>20	Muito Alto	>2,564

Fonte: Francisco (2010).

Os índices de vulnerabilidade das classes foram estabelecidos de forma progressiva procurando-se simular a aceleração do processo erosivo. Procedeu-se o mesmo critério para os demais parâmetros do modelo: erodibilidade do solo e erosividade.

A erodibilidade dos solos (K) da bacia foi determinada pela equação proposta por Denardin (1990), para o conjunto dos solos brasileiros e americanos,

simplificada por Chaves et al. (2004) para os dois principais parâmetros, o fator granulométrico M e a permeabilidade do solo P.

Na elaboração do mapa de erodibilidade foi criada uma planilha no Excel em que cada polígono de solo da área de estudo, baseado nas informações contidas nos perfis representativos de BRASIL (1972) e 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 brasileiro, 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 e que tem a seguinte expressão matemática determinada pela Equação 2.

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

(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 denominada de fração “novo silte (NS)” enquanto, a fração areia com a subtração da fração areia muito fina, passou a ser denominada 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, enquanto, originalmente, a variável “M” utiliza os dados da classificação americana; assim, para a conversão dos dados granulométricos da classificação internacional dos boletins de solos brasileiros, com vista à classificação americana, Chaves et al. (2004) propuseram a Equação 4.

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

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

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

Tabela 2. Correspondência entre classes de drenagem e permeabilidade

<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 ( $X_{29}$ )

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

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 no SPRING foi realizada a classificação para o enquadramento das classes definidas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Classes de erodibilidade dos solos

<b>Classes de Risco</b>	<b>Erodibilidade - Fator K (Mg mm MJ<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>
Muito Baixa	< 0,01
Baixa	0,01 - 0,02
Média	0,02 - 0,03
Alta	0,03 - 0,04
Muito Alta	> 0,04

Fonte: Francisco (2013).

Na elaboração do mapa de erosividade da chuva (R) utilizou-se o método da EI<sub>30</sub> (Equação 5), conforme proposto por Lombardi Neto e Mondenhauer (1992), por utilizar apenas dados de precipitação pluviométrica mensal e anual. Os dados de precipitação média mensal e anual acumuladas para o município de

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Areia-PB, no período entre 1994 e 2019, foram obtidos na Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

$$EI_{30} = 68,730 (r^2 / P)^{0,841} \text{ (Eq. 5)}$$

Em que: EI = média mensal do índice de erosividade ( $\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ); r = precipitação média mensal (mm); e P = precipitação média anual (mm).

Tabela 4. Classes de erosividade da chuva

<b>Classes de Risco</b>	<b>Erosividade - Fator R (<math>\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}</math>)</b>
Muito Baixa	0 – 2.000
Baixa	2.000 – 4.000
Média	4.000 – 6.000
Alta	6.000 – 8.000
Muito Alta	8.000 – 10.000

Fonte: Lombardi Neto e Mondenhauer (1992).

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

Erosividade da chuva (R) x Erodibilidade do solo (K) x Declividade (S) (Eq. 6)

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Para os cálculos foi utilizada uma planilha eletrônica e para a modelagem a linguagem de programação LEGAL, subprograma do SPRING, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros para estimativa do PNE e do LTP

Classes de Risco	Erosividade	Erodibilidade	Declividade Fator S	PNE	Limites
	Fator R (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Fator K (Mg mm MJ <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )		(R x K x S) (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Tolerância Perdas (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Muito Baixa	0 - 2.000	0,00 - 0,01	< 0,273	0 - 5	0 - 3
Baixa	2.000 - 4.000	0,01 - 0,02	< 0,619	5 - 50	3 - 6
Média	4.000 - 6.000	0,02 - 0,03	< 1,403	50 - 250	6 - 9
Alta	6.000 - 8.000	0,03 - 0,04	< 2,564	250 - 800	9 - 12
Muito Alta	8.000 - 10.000	0,04 - 0,05 <sup>+</sup>	> 2,564	> 800	> 12

Fonte: Francisco et al. (2021).

Para a elaboração do mapa do Limite de Tolerância de Perda (LTP) foi 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 ( $DS = 1,660 - 0,318 (\%COT) 0,5$ , segundo Benites et al. (2007).

Para os cálculos foi utilizada uma planilha eletrônica e para a modelagem a linguagem de programação LEGAL subprograma do SPRING conforme a Tabela 5.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a Figura 3, no mapa de Declividade - Fator S, observa-se que a declividade da bacia é predominantemente pertencente as classes, média (6 a 9%) e alta (9 a 12%). Essas terras ocorrem de forma difusa em toda a bacia e representa área já com forte restrição ao uso com agricultura requerendo o uso intensivo de práticas conservacionistas, que no conjunto, abrangem 68,74% da área da bacia (Tabela 6). Observa-se que sua distribuição está associada aos solos predominantes da bacia, corroborando com as observações de Farias (2006).

As áreas mais declivosas da bacia das classes alta e muito alta se distribuem áreas de serras interiores de mata da reserva Pau dos Ferros, e também ocorrem de forma difusa em toda a bacia. A classe muito alta, representando áreas com declividades superiores a 20%, ocupam 0,941 km<sup>2</sup>, representando 6,7% da área da bacia (Tabela 6). A classe alta, normalmente ocorrendo associada à classe

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

muito alta, ocupa uma área de 3,428 km<sup>2</sup>, o que representa 24,41% da área total.

No terço mais baixo da drenagem estão possivelmente e fortemente associadas aos Neossolos Flúvicos.

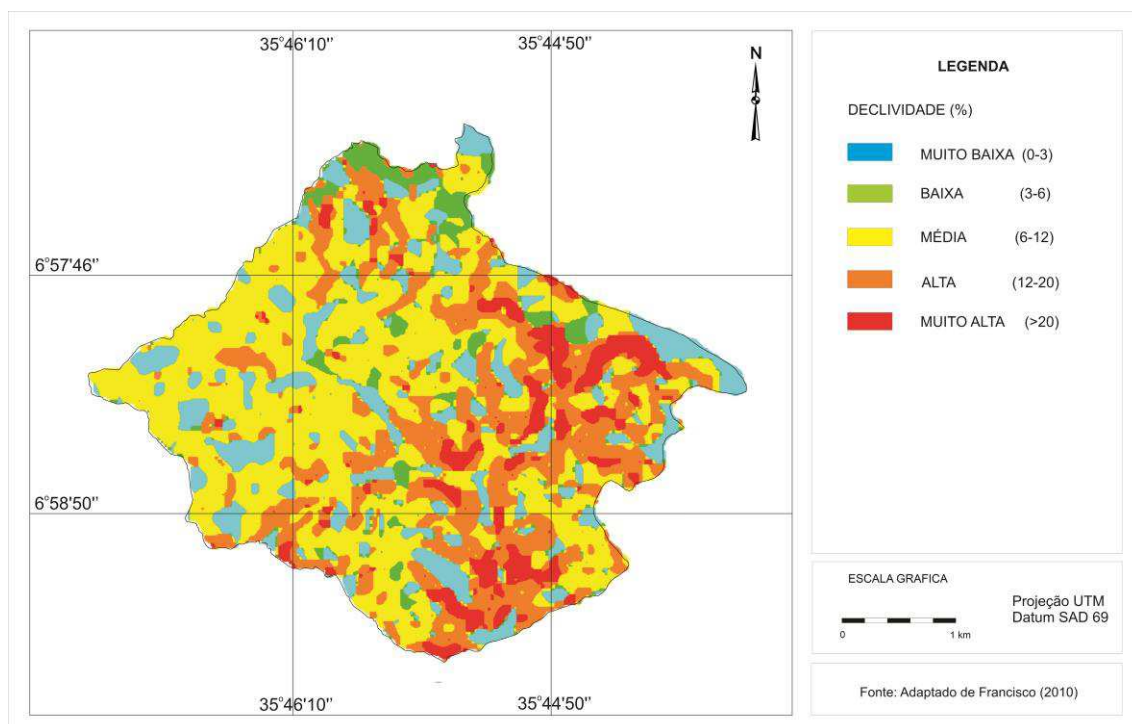


Figura 3. Mapa de Declividade – Fator S.

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.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Esta característica reforça a importância de conservar a topografia dos terrenos, pois solos que estão em locais declivosos apresentam maior tendência a processos erosivos, seja hídrico ou eólico, principalmente em locais que possuam cursos de corpos d'água (VALLADARES et al., 2012).

Sales (2018) encontrou valores do fator R de 6.394,43 MJ ha<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup>, com base de dados dos últimos 30 anos para o município de Alagoa Nova-PB, área contigua a este estudo.

Albuquerque et al. (2005) encontraram índices de erosão, para um Argissolo Vermelho-Amarelo, no município de Sumé-PB, região semiárida, de 4.928 MJ.mm.h<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>, com precipitação pluvial média de 695 mm.ano<sup>-1</sup>. Valores próximos ao encontrado por este trabalho.

Tabela 6. Áreas das classes de vulnerabilidade a desertificação

Classes de risco	Fator R		Fator K		Fator S		PNE		LTP	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
Muito Baixa					2,616	18,630			0,627	4,465
Baixa			2,462	17,53	0,832	5,925	0,482	3,430		
Média	14,042	100	11,580	82,47	6,225	44,331	3,574	25,453		
Alta					3,428	24,412	9,986	71,117		
Muito Alta					0,941	6,701			13,415	95,535
<b>Total</b>	<b>14,042</b>	<b>100</b>	<b>14,042</b>	<b>100</b>	<b>14,042</b>	<b>100</b>	<b>14,042</b>	<b>100</b>	<b>14,042</b>	<b>100</b>

Observa-se no mapa de erodibilidade do solo – Fator K (Figura 4), que a erodibilidade está fortemente associada à presença de frações silte+areia muito fina (fator M), e de forma secundária, a permeabilidade, representados pelos

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Neossolo Litólico Eutrófico típicos, e pelo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto com uma área de 82,47% da bacia com valores de  $0,0200 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  e de  $0,0229 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , respectivamente. Valores médios semelhantes foram encontrados por Bueno e Stein (2004) e Silva (2008) para Argissolos Vermelho Amarelo. Francisco et al. (2019) encontraram para estes solos na bacia do Alto curso do rio Paraíba o valor de  $0,0226 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ .

As classes de erodibilidade muito baixa, alta e muito alta, com valores inferiores a  $0,01 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , e superiores a  $0,05 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , respectivamente, não tiveram qualquer representante.

Pelos dados das Tabelas 6 e 7, observa-se que a classe de erodibilidade baixa com valores de erodibilidade de  $0,163 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  ocupa uma área de  $2,46 \text{ km}^2$  da bacia, representando 17,53% da área total onde o solo representativo desta classe de erodibilidade é o Latossolo Amarelo Distrófico argissólico.

Chaves et al. (2004), encontraram utilizando esta mesma metodologia para os solos de todo o Estado da Paraíba, valores variando de  $0,010$  a  $0,054 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , para Latossolo os autores comentam achar esta amplitude de valores relativamente pequena face à diversidade de solos, material geológico e clima, que ocorrem nas diferentes regiões geográficas do Estado. Dias (2015) estudando os solos do município de Lucena-PB encontrou valores do fator K para o Argissolo Vermelho-Amarelo de  $0,032 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , valor similar a este estudo.

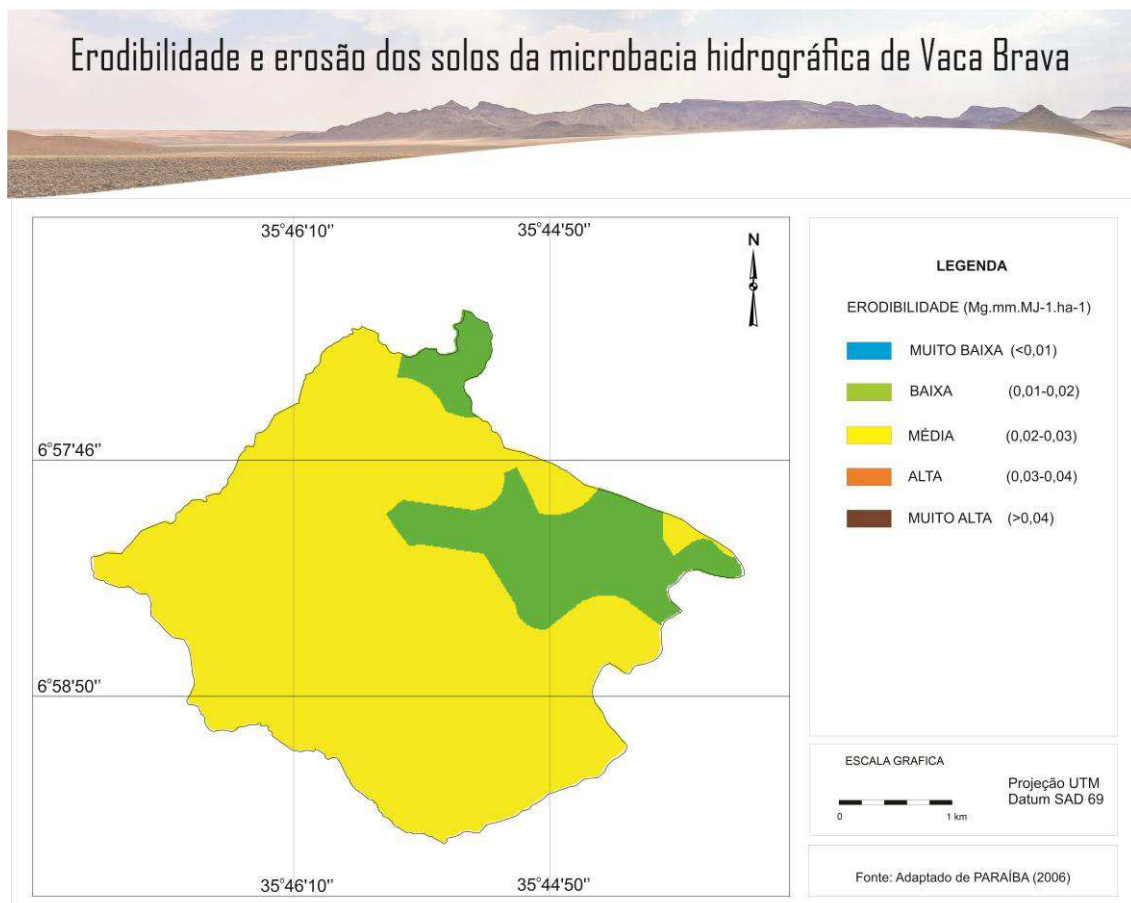


Figura 4. Mapa de erodibilidade dos solos – Fator K.

Na Tabela 7 são apresentados os valores dos parâmetros de determinação e da erodibilidade dos solos, com sua classificação.

Tabela 7. Parâmetros dos solos utilizados para estimativa e classificação da erodibilidade (Fator K)

Solo	Perfil Repres.	Areia (%)	Ar+Silte (%)	Mi	Mc	Drenabilidade	Fator K (Mg h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	Classe
LVd1 (Latossolo)	1	74	26	2600	1396	3	0,0199	B
Re32 (Litólico)	59	47	33	2640	1413	3	0,0200	M
PE21 (Argissolo)	22	36	43	3397	1773	3	0,0229	M

Fonte: BRASIL (1972); PARAÍBA (1978).



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Marques et al. (1997) encontraram para os Argissolos o valor de  $0,029 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , Silva et al. (1997) obtiveram para os Latossolos o valor de  $0,018 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , valores bem próximos aos encontrados por este trabalho. Silva et al. (2000) verificaram que os Latossolos apresentaram valores de erodibilidade entre  $0,002$  e  $0,034 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , resultados próximos ao valor encontrado por este trabalho. Nogueira (2000) observou que os valores extremos do fator K foram para Latossolos entre  $0,0169$  e  $0,0298 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ ; Podzólicos entre  $0,0265$  e  $0,0496 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ ; e para os Litólicos entre  $0,0442$  e  $0,0551 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ .

Os resultados de precipitação média mensal para a área de estudo e do resultado do cálculo do índice de erosividade  $EI_{30}$  em  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$  podem ser observados na Tabela 8.

Observa-se na Tabela 6, que a média da precipitação mensal apresenta valor de  $114,24\text{mm}$  com os menores valores nos meses de outubro e novembro em  $26,55$  e  $45,25\text{mm}$ , respectivamente. Os maiores valores de precipitação na bacia encontram-se entre os meses junho e julho com  $205,86$  e  $201,22\text{mm}$ , respectivamente. Para os valores de erosividade, observa-se que também apresenta baixos índices para os meses de menores valores de precipitação de outubro e novembro, com valores de  $EI_{30}$  de  $317,53$  e  $257,40 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente. Para os meses junho e julho os valores são de  $9.952,78$  e  $9.578,61 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente.

De acordo com Santos et al. (2010), as variações desses eventos no tempo e no espaço é característico da região semiárida. Os eventos de precipitação pluvial

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

são fatores físicos de grande influência na magnitude das perdas de solo em regiões como essas (THOMAZ, 2009). 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).

Tabela 8. Distribuição mensal média da precipitação e erosividade

<b>Meses/Anos (1994-2019)</b>	<b>Precipitação média (mm)</b>	<b>EI<sub>30</sub> (MJ ha<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup>)</b>
Janeiro	130,07	4.596,83
Fevereiro	100,37	2.973,25
Março	138,34	5.100,08
Abril	152,27	5.993,28
Maio	162,60	6.692,65
Junho	205,86	9.952,78
Julho	201,22	9.578,61
Agosto	123,73	4.227,25
Setembro	61,17	1.292,59
Outubro	26,55	317,53
Novembro	23,44	257,40
Dezembro	45,25	778,51
<b>Média</b>	<b>114,24</b>	<b>4.313,40</b>

Fonte: adaptado de AESA (2021).

Conforme a Figura 5, no mapa de erosividade média anual da chuva, observa-se que a erosividade da chuva na bacia é totalmente da classe média, entre

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

4.000 a 6.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, demonstrando esta ser uma área climaticamente homogênea. Resultados semelhantes ao encontrado por Francisco e Chaves (2017) para a bacia do rio Taperoá, sob o planalto da Borborema em clima semiárido.

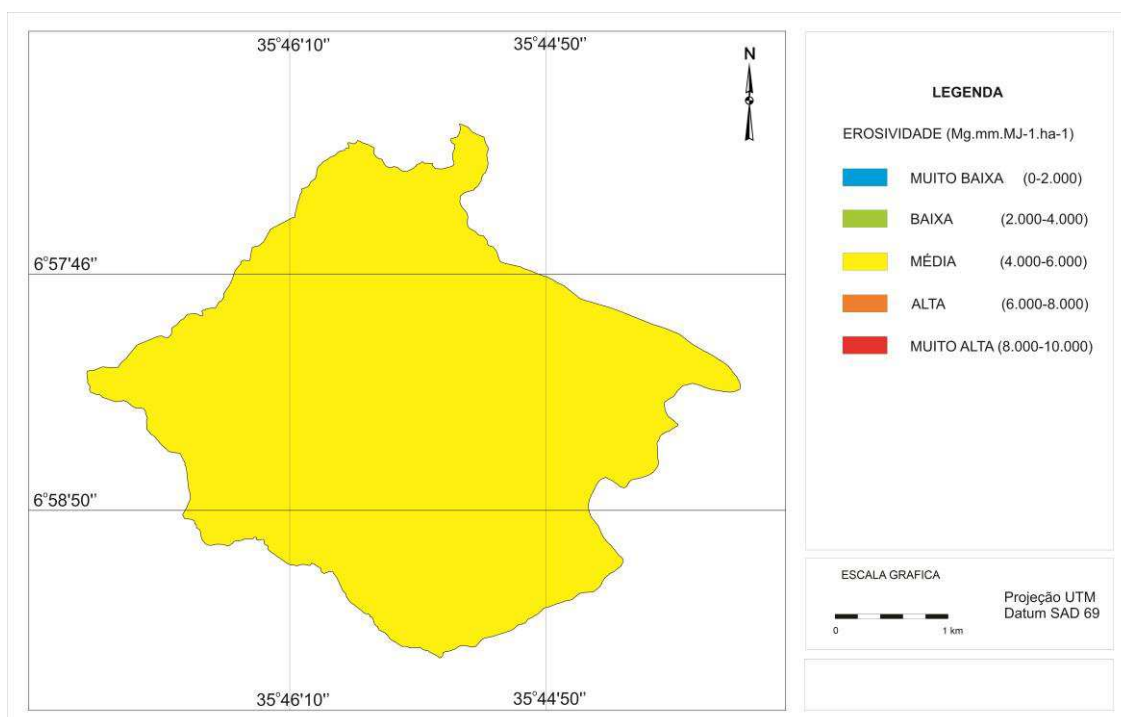


Figura 5. Mapa de Erosividade média anual da chuva – Fator R.

No mapa de potencial natural de erosão da bacia (Figura 6), pode-se observar que é considerado da classe média que varia entre 50 a 250 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para 25,45% da área total da bacia e da classe baixa para 3,43% das suas terras entre 0 a 5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para a classe alta do PNL observa-se 71,17% da área da bacia que varia entre 250 a 800 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 8). Resultado este



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

influenciado pela média erosividade da chuva e pela declividade do terreno devido estar localizado em regiões de altitude.

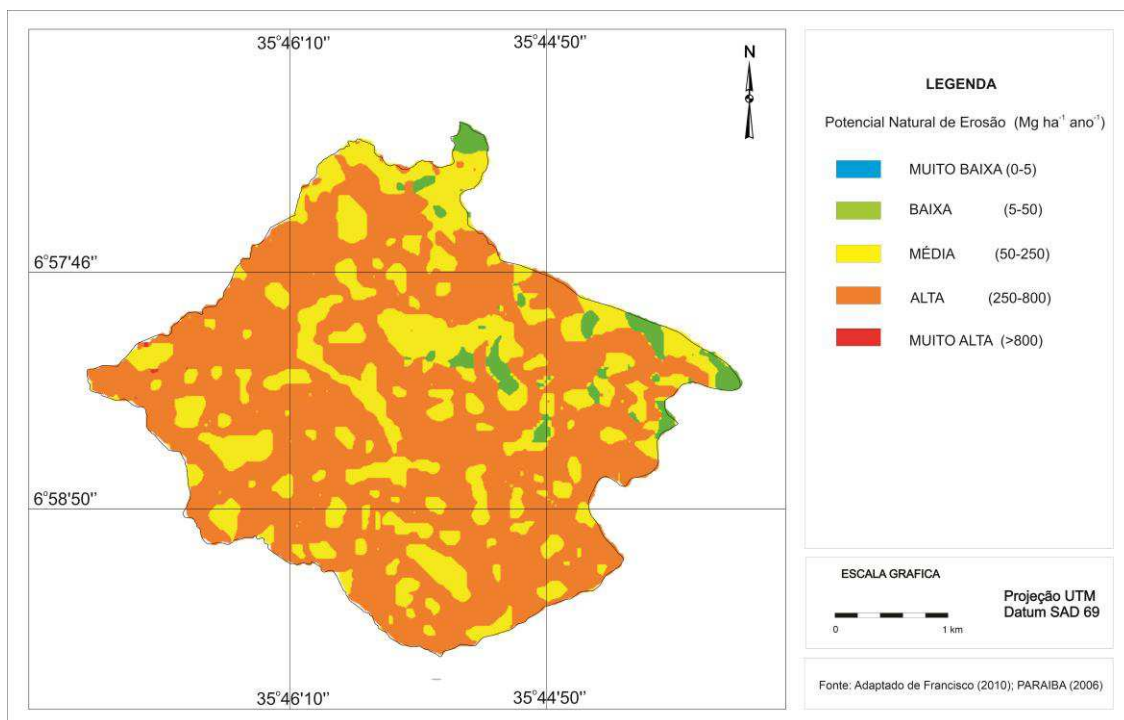


Figura 6. Mapa do potencial natural à erosão - PNE.

Observa-se no mapa de limite de tolerância de perdas dos solos (LTP) (Figura 7) que a classe, muita baixa compreende 4,46% da área da bacia (Tabela 6), estando associado à baixa profundidade efetiva do Neossolo Litólico. Para as áreas da classe muito alta de LTP, que representam 95,53% da bacia (Tabela 7), estão associadas ao Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abruptico em maior proporção e em menor ao Latossolo Amarelo Distrófico argissólico. Segundo Schick et al. (2000), a perda de solo está relacionada com a erosividade dos eventos de precipitação e da umidade do solo.

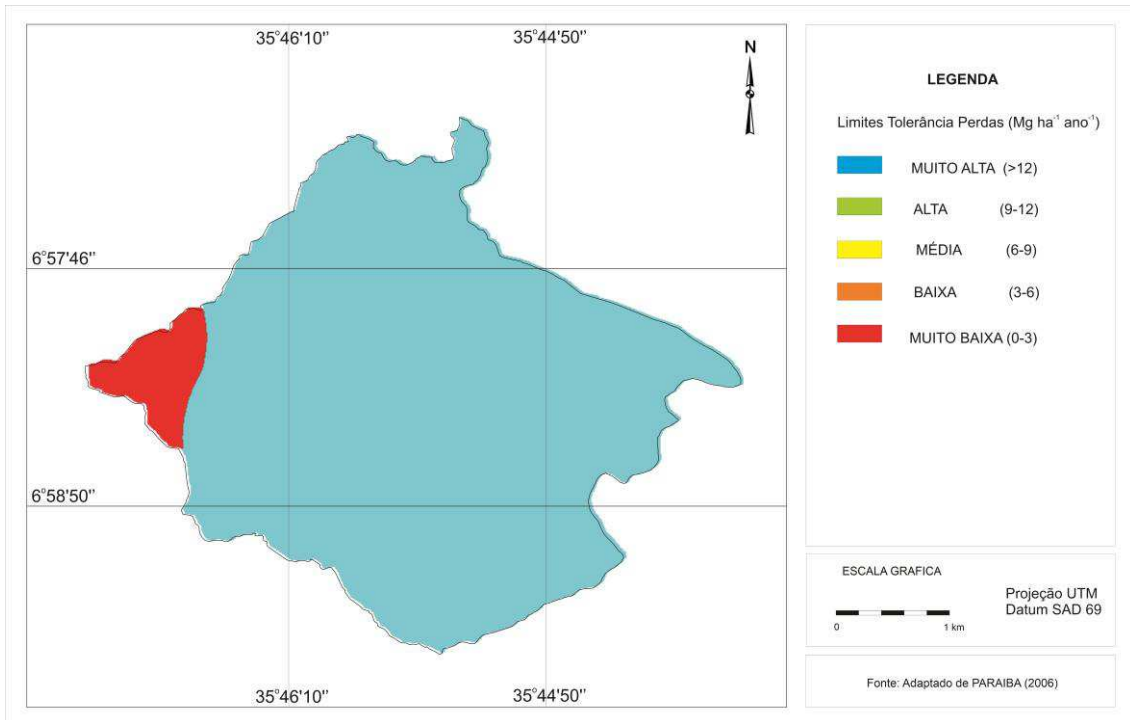


Figura 7. Mapa de limites de tolerância às perdas - LTP.

A tolerância de perda de solo segue a ordem do Latossolo > Argissolo > Neossolo. O Latossolo apresenta valor de 29,04 Mg.ha<sup>-1</sup> seguido pelo Argissolo com 17,4 Mg.ha<sup>-1</sup>, enquanto o Neossolo apresenta valores de 2,64 Mg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 9).

Sales (2018) observou que no Argissolo Vermelho Amarelo, no município de Alagoa Nova-PB a perda de solo estimada oscilou entre 3,39 e 600,38 t/ha/ano. Ao avaliar a tolerância de perdas por erosão para as principais ordens de solos do estado da Paraíba, Oliveira (2004) encontrou valores de tolerância para o Argissolo Vermelho Amarelo de 8,46 t/ha/ano.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Tabela 9. Parâmetros dos solos utilizados para estimativa e classificação do LTP

Símbolo/Solos	Argila (%)	rt	r	Prof. h (mm)	Altura h.r (m)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	T (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Classe
LAd- Latossolo								
Amarelo Distrófico argissólico	A = 23 e B = 29	1,3	0,75	1500	1,125	1,32	14,85	MA
RLe-Neossolo								
Litólico Eutrófico típicos PVAd - Argissolo	A = 35,0 e R = 0,0	X	0,5	350	0,175	1,32	2,31	MB
Vermelho- Amarelo Distrófico abruptico	A = 23,0 e B = 35,0	2	0,75	2000	1,500	1,32	19,8	MA

Fonte: adaptado de BRASIL (1972); PARAÍBA (1978).

Para Oliveira et al. (2008) os solos que apresentaram os maiores valores de tolerância foram os Latossolos, com valores médios variando de 10,6 a 13,9 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para os Neossolos, Os autores afirmam que estes apresentam baixa profundidade efetiva, e esse fator limita o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular vegetal, diminuindo a capacidade de drenagem, e conseqüentemente, aumentando a suscetibilidade à erosão.

Gomes et al. (2015) observaram que, nos Neossolos em área declivosa no município de Guarabira-PB, região contígua a este estudo, os valores de perda de solos com valores médios máximos de 3,3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que corroboram com os

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

observados por Lombardi Neto e Bertoni (1975) em Neossolos Litólicos e Regolíticos, que obtiveram valores médios de 4,2 e 14,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Estimativa de perdas de solos próximo aos valores obtidos neste trabalho.

Mannigel et al. (2002), estudando solos do Estado de São Paulo observaram que os valores extremos do fator erodibilidade do horizonte A foram de 0,4278 t.ha.h/ha.MJ.mm para o Argissolo e os valores extremos da tolerância de perda de solo variaram entre 3,00 t/ha.ano.

## CONCLUSÃO

Embora apresente limitações relativas à escala de trabalho, o uso de técnicas do geoprocessamento permitiu estimar e mapear o potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo das terras da bacia hidrográfica em estudo.

O limite de tolerância de perdas dos solos da classe muito alta ocorreram em 95,53% da bacia e estão associados ao Argissolo e ao Latossolo.

O fator S apresentou maior influência ao potencial natural a erosão em relação aos fatores R com 100% na classe média e K com 82,47% também na classe média.

## 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.; MOURA 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.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

ANDRADE, L. A.; MACHADO, C. C. C. Diagnóstico geoambiental Integrado do município de Areia, Paraíba, como subsídio para o planejamento e gestão ambiental: caracterização do uso e cobertura da terra no município de Areia-PB. Universidade Federal da Paraíba, 2018. 24p. Disponível em: <http://www.cca.ufpb.br/cca/contents/paginas/institucional/diagnostico-geoambiental-integrado-do-municipio-de-areia>. Acesso em: 20 dezembro de 2020.

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.

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.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba, SP, LivroCeres, 1990. 132p.

BLANCO, H.; LAL, R. Principles of soil conservation and management. New York: Springer, 2008.

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).

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.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, C. B.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Escola de Computação. SBC, 1996. 193p.

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, 2006.

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. 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. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.666 -675.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

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...SBCS, Santa Maria, 2004.

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. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, n.23, p.71-96, 2019.

DENARDIN, J. E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 114f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1990.

DIAS, E. R.; SILVA, R. M. Estimativa do risco à erosão do solo no município de Lucena-Paraíba. *Caminhos de Geografia*, v.16, n.54, p.192-204, 2015.

FARIAS, L. C. DE. Diagnóstico físico-conservacionista das terras e a percepção comunitária–bacia hidrográfica da barragem Vaca Brava–Areia, PB. 127f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2006.

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

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

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.; 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, 2019.

FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. DO N.; QUEIROZ, K. B. DE. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo na bacia hidrográfica do Açude do Namorado. In: TECNO21 Ciência e Desenvolvimento. v.1. (Org). FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. DO N. Campina Grande: EPTEC, 2021. 74p.

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.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 março de 2011.

JARDIM, A. M. DA R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. DO N.; SILVA, M. J. DA; MORAIS, J. E. F.; THIERES GEORGE FREIRE DA 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.



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28).

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.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. DE P. E.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. DA R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, v.24, n.5, p.1335-1340, 2002.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURTI, 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.

MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. 3. ed. Londres: Blackwell Science, 2015. 304p.

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.

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 Agrônoma). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2004.

OLIVEIRA, F. P.; SANTOS, D.; SILVA, I. F.; SILVA, M. L. N. Tolerância de perdas 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, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, v.100, n.1, p.139-147, 2012.

PALM, C.; SANCHEZ, P.; AHAMED, S.; AWITI, A. Soils: a contemporary perspective. *Annual Rev. Environ. Resour.*, v.32, p.99-129, 2007.

PARAÍBA. Governo do Estado - Secretaria de Agricultura e Abastecimento – CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult 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.

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).

SALES, J. F. S. DE. Estimativa de perdas de solo por erosão em propriedades rurais registradas no cadastro ambiental rural no município de Alagoa Nova-PB. 44f. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2018.

SANTOS, A. C. dos. Fertilidade de solo e redistribuição de <sup>137</sup>Cs em função da cobertura vegetal, relevo e classes texturais, em uma microbacia hidrográfica do Estado da Paraíba. 67f. Tese (Doutorado em Tecnologia Energéticas e Nucleares). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004.

SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; MONTENEGRO, A. A. A. Temporal variability of soil water content under diferente surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco State. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.5, p.1733-1741, 2010.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de Solo e Água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.2, p.427-436, 2000.

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.; 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, M. L. N.; CURI, 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.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUAX, P.; CURI, 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.

SMITH, R. M.; STAMEY, W. L. How to establish erosion tolerances. *J. Soil Water Conserv.*, v.19, n.3, p.110-111, 1964.

THOMAZ, E. L. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.130, n.1, p.23-30, 2009.

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, n.9, p.1376-1383, 2012.

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.

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 loss: a guide to conservation planning. U.S. Department Agric. Washington D.C. Handb. No. 537, 1978. 58p.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

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.

Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



# ***ESTIMATIVA DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA***



# INTRODUÇÃO

Estimativas da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), apontam que 33% dos solos mundiais apresentam degradação provocada pela erosão, acidificação, contaminação, salinização e compactação (FAO, 2015).

A erosão do solo é considerada de grande impacto para humanidade, haja que afeta diretamente a produtividade agrícola e os recursos naturais (Morais & Sales, 2017). Dessa maneira, transforma milhões de hectares de áreas agricultáveis estão se tornando improdutivos, resultando em solos de baixa competitividade agrícola (Bertol et al., 2019). Como consequência, áreas produtivas sofrem perdas de 20-40 bilhões de toneladas de solo pela erosão por ano (FAO, 2015).

O fator de erodibilidade do solo é um atributo complexo e é considerado como a suscetibilidade com que o solo é desagregado pelas gotas de chuva e pelos salpicos durante a chuva ou por escoamento superficial ou ambos (Römken 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, 2005).

A erodibilidade do solo pode ser obtida por três métodos de determinação (Silva et al., 2000). O primeiro compreende a obtenção do fator K por meio de

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

experimentos em campo com chuva natural, em parcelas permanentes para estudo de erosão, metodologia esta que envolve altos custos e demanda um período de tempo relativamente longo. O segundo é similar ao primeiro, no entanto, a estimativa ocorre sob chuva simulada, em período de tempo mais reduzido. Esses dois métodos diretos são caracterizados como padrões para expressar a erodibilidade do solo, sendo o seu uso recomendado na aplicação da EUPS (Wischmeier & Smith, 1978). O terceiro método utilizado para se determinar a erodibilidade de forma indireta, utilizando regressões múltiplas que abrangem variáveis independentes como propriedades morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas ou reações destas (Silva et al., 2000).

O estudo da estimativa da erodibilidade tem gerado um amplo interesse nas últimas décadas e a partir disso diversos trabalhos vêm sendo produzidos para a obtenção do fator K, por exemplo: Cutillas et al. (2009), Silva et al. (2009), Wei e Zhao (2017). Os modelos EPIC, Torri e Shirazi são amplamente utilizados em trabalhos de erosão do solo (Zhang et al., 2018; Wang et al., 2012; Cutillas et al., 2009).

A krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio de que: fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, exigindo saber até onde, espacialmente, esta correlação importa (Isaaks & Srivastava, 1989). A técnica consiste em estimar valores médios e também uma medida de acuracidade dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o



ponto estimado, na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto (Bettini, 2007).

A krigagem é apontada como uma boa ferramenta de interpolação de dados (Jakob, 2002). Trabalhos como os de Francisco et al. (2015; 2016), mapeando índices de umidade, hídrico e de aridez, discriminação de cenários pluviométricos e insolação utilizando krigagem, obtiveram excelentes resultados.

Portanto, este trabalho objetiva modelar e estimar o potencial de erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava-PB e mapear utilizando método estatístico de interpolação por Krigagem.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### ***Caracterização da área de estudo***

A microbacia hidrográfica de Vaca Brava está localizada na microrregião do Brejo Paraibano, mesorregião do Agreste, nos contrafortes do Planalto da Borborema, Estado da Paraíba (Figura 1).

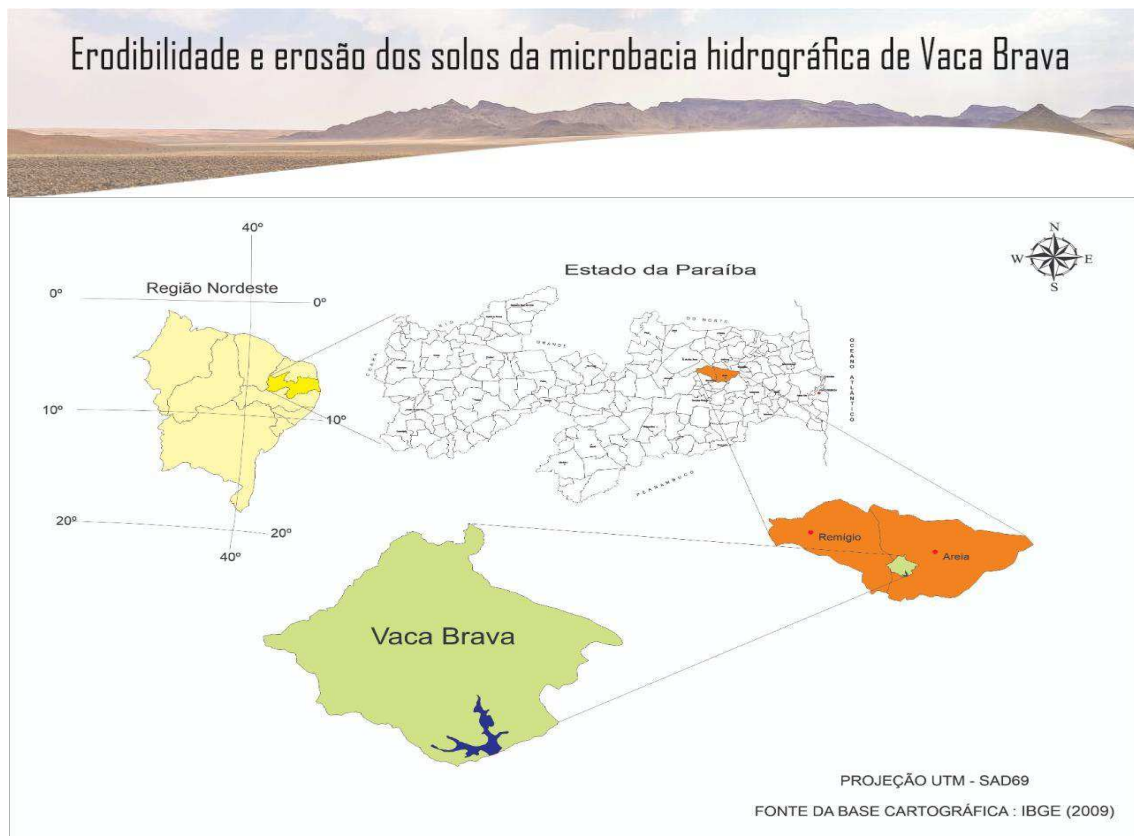


Figura 1. Localização da microbacia hidrográfica de Vaca Brava, Areia-PB.

Fonte: Adaptado de IBGE (2009).

A área está localizada no ponto central sob coordenadas  $6^{\circ}58'22,9''$  S e  $35^{\circ}45'30,26''$  W. A microbacia abrange uma área de  $14,03 \text{ km}^2$  e a área da bacia hidráulica do açude Vaca Brava compreende  $0,37 \text{ km}^2$  (SILVA, 2012). Segundo a classificação de Köppen, o clima regional é do tipo  $As'$  - tropical, semi-úmido, com chuvas no período outono-inverno e período chuvoso entre os meses de março e agosto (ALVARES et al., 2013). A área apresenta altitude média de  $637 \text{ m}$  e temperatura média anual de  $24^{\circ}\text{C}$  (SANTOS, 2004) (Figura 2).

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

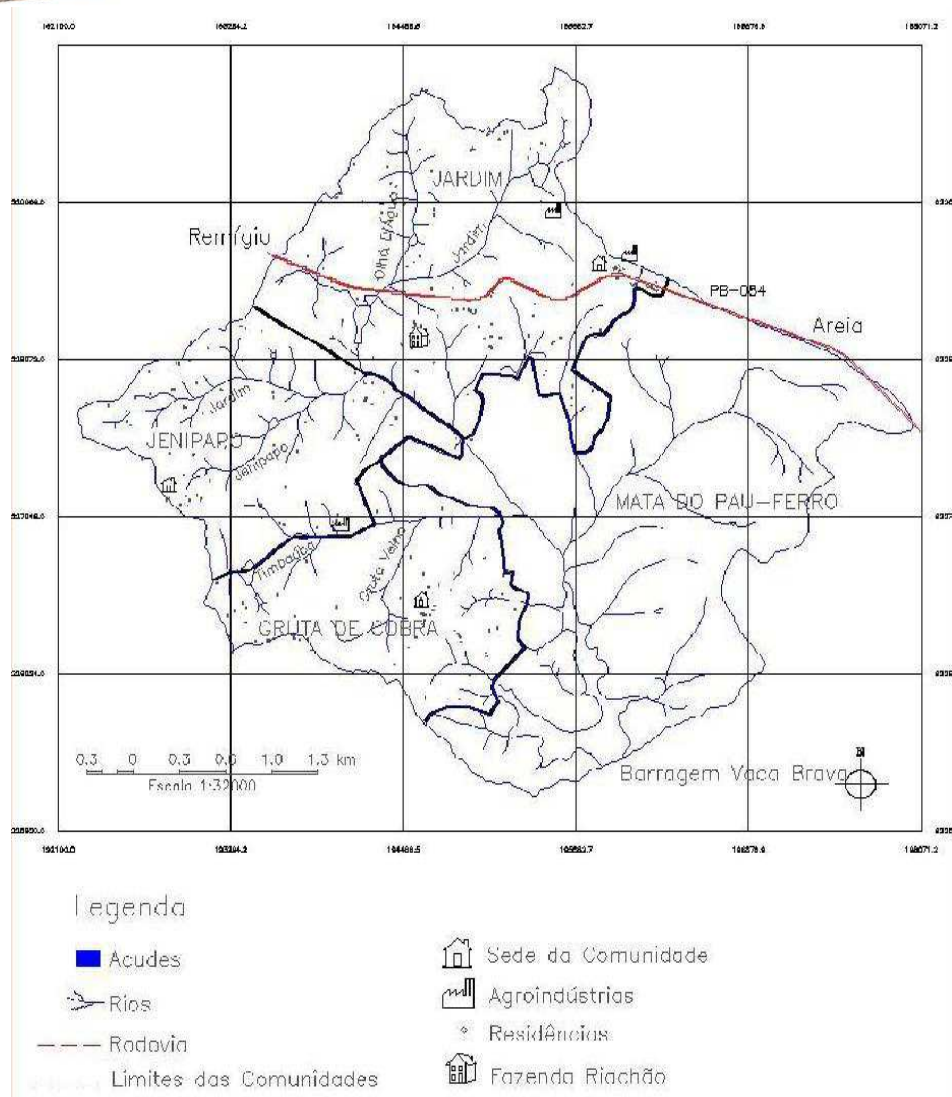


Figura 2. Mapa-base da microbacia hidrográfica Vaca Brava, Areia-PB.

Fonte: Farias (2006).

As classes de solos predominantes na área da microbacia de Vaca Brava, de acordo com Santos (2004); Farias (2006), são o Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, Argissolo Vermelho distrófico, Cambissolo Háplico Tb distrófico, Gleissolo, Latossolo Amarelo distrófico, Neossolo Flúvico Tb distrófico, Neossolo Regolítico distrófico e o Neossolo Litólico distrófico (Figura 3).

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

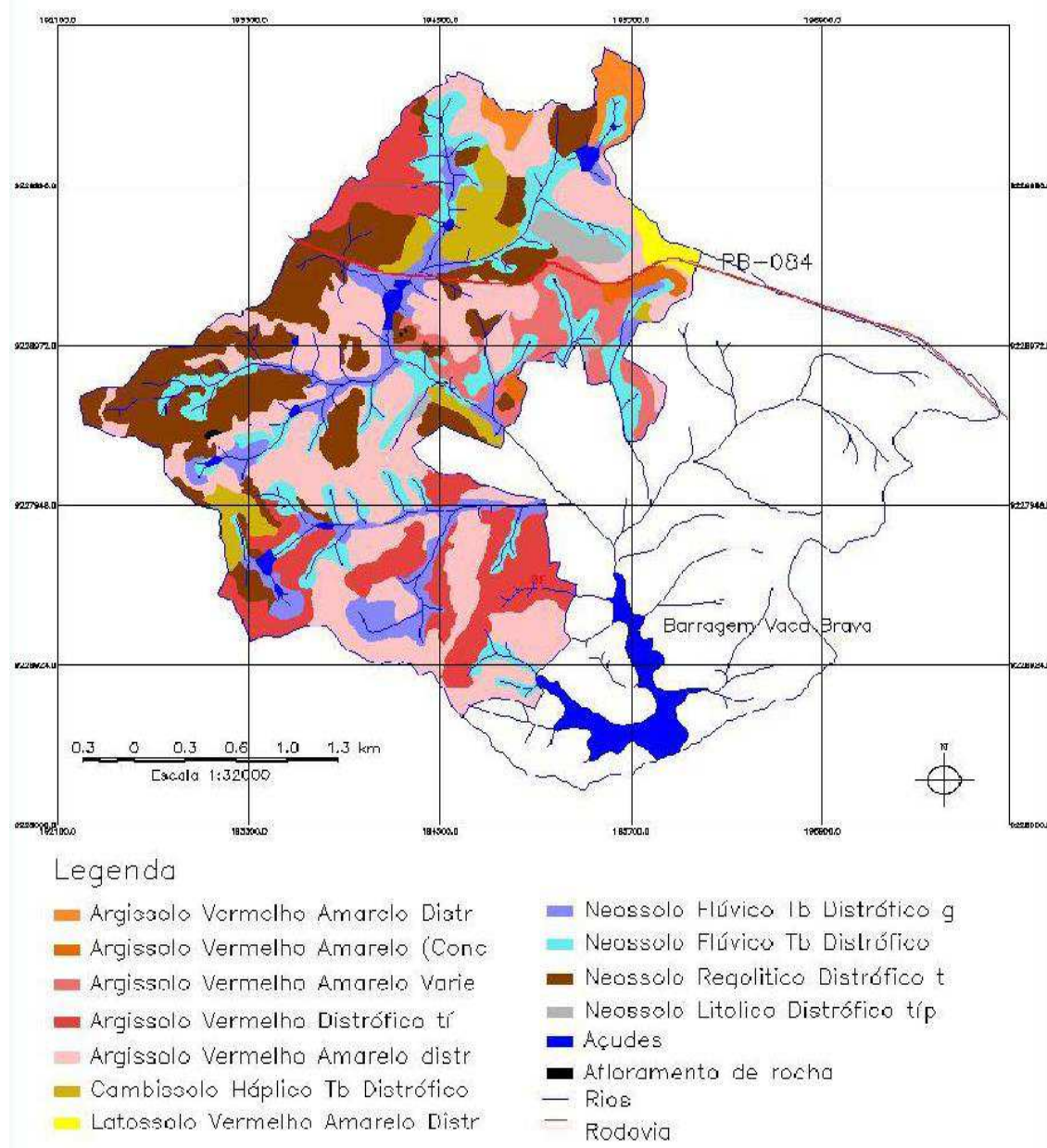


Figura 3. Mapa de solos de área parcial da microbacia hidrográfica Vaca Brava, Areia-PB. Fonte: Farias (2006).

O açude de Vaca Brava está inserido, em sua maior parte, no município de Areia, que apresenta clima tropical chuvoso, com precipitação média anual de 1370,9 mm (AESA, 2020; INMET, 2020), temperatura variável entre 15 e 30°C e

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

umidade relativa do ar média em torno de 83% (INMET, 2020), com relevo ondulado a fortemente ondulado. A outra parte do açude localiza-se no município de Remígio (PB), que apresenta características edafoclimáticas de transição, com solos arenosos, relevo suave-ondulado e marcante declínio na pluviosidade anual (820mm) (SILVA et al., 1993). O açude é destinado para o abastecimento das cidades paraibanas de Remígio e Esperança, além dos distritos de Cepilho (Areia), Lagoa do Mato (Remígio) e São Miguel (Esperança) (CAGEPA, 2011), abrangendo uma população de 48.676 habitantes (IBGE, 2021).

A área de captação da microbacia se encontra 50% sob Mata Atlântica de altitude inserida no Parque Estadual “Mata do Pau-Ferro” enquanto a outra parte é utilizada na agropecuária familiar (ANDRADE; MACHADO, 2018). Nas áreas com utilização sob manejo agrícola, figuram os seguintes usos do solo: capoeira (área de pousio), reflorestamento (sabiá - *Mimosa caesalpinifolia* Benth) e uso agropecuário (capineiras e roçados) (SANTOS, 2004).

### ***Base de dados***

O banco de dados utilizado para este trabalho foi o do trabalho de Santos (2004) em que procedimentos de amostragem de coleta de solo foram realizados na microbacia hidrográfica de Vaca Brava (Tabela 1). Foram acessados dados de 360 amostras de solo (0-20 cm), obtidas em pontos amostrais georreferenciados e estratificados pela posição do relevo (topo, ombro, meia encosta, pedimento e várzea) e por cobertura vegetal (agricultura, pastagens, capineira - *Cenchrus*

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

*purpureus* (Schumach.) Morrone; sabiá - *Mimosa caesalpinifolia* Benth, capoeira, e mata nativa).

A área de topo representa aproximadamente 2% (28 ha) tendo como solo predominante o Latossolo Amarelo distrófico; o ombro representa 20% (281 ha) com o solo predominante Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico; a meia encosta representa 31% (435 ha) apresentando os solos mais representativos Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico e Neossolo Regolítico distrófico. Já o pedimento ocupa 31,8% (446 ha), e os solos predominantes são Neossolo Regolítico distrófico e Neossolos Flúvicos; e por fim, as várzeas ocupam 15% (211 ha), com predominância de Neossolo Flúvico e Gleissolos (SANTOS, 2004).

Tabela 1. Valores médios de granulometria e teores de carbono e matéria orgânica nas posições da paisagem e usos dos solos predominantes

Posição	Nº amostras	Areia Total	g kg <sup>-1</sup>				Usos
			Silte	Argila	C.O.	M.O.	
Topo	41	688	73	239	16	28	Agri/Capi /Mat/Past/Sab
Ombro	24	690	90	220	13	23	Agri/Capo/Mat/Past
M. encosta	189	664	99	237	16	28	Agri/Capi/Capo/Mat/Past/Sab
Pedimento	41	789	82	129	10	17	Agri/Capi/Capo/Mat/Past/Sab
Várzea	65	704	143	153	15	27	Agri/Capi/Mat/Past/Sab

Agri = Agricultura; Capi = Capineira; Capo = Capoeira; Mat = Mata; Past = Pastagem; Sab =

Sabiá. Fonte: Santos (2004).

### ***Determinação da erosividade das chuvas - Fator R***

Devido à ausência de dados pluviográficos detalhados para a região estudada, utilizou-se o método proposto por Lombardi Neto e Mondenhauer (1992) para obtenção do índice de erosividade  $EI_{30}$  a partir de dados de precipitação pluviométrica mensal e anual da região (Equação 1). Os dados de precipitação média mensal e anual para o município de Areia (PB), no período entre 1994 e 2019, foram obtidos nos endereços eletrônicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

$$EI_{30} = 68,730 (p^2 / P)^{0,841} \text{ (Eq. 1)}$$

em que:  $EI_{30}$  = média mensal do índice de erosividade ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ );  $p$  = precipitação média mensal (mm); e  $P$  = precipitação média anual (mm).

### ***Determinação de erodibilidade do solo – Fator K***

Para a determinação do fator K dos solos da microbacia hidrográfica Vaca Brava foi utilizado o método indireto a partir de três modelos matemáticos: 1) modelo de impacto da erosão sobre a produtividade (Erosion-Productivity Impact Calculator, EPIC), desenvolvido por Williams (1995); 2) modelo de Torri et al. (1997), que utiliza atributos físicos e químicos do solo; e 3) modelo de Shirazi et al.

(1988), que utiliza o diâmetro médio geométrico das frações granulométricas do solo.

Os modelos EPIC, Torri e Shirazi são amplamente utilizados em trabalhos de erosão do solo (ZHANG et al., 2018; WANG; ZHENG et al., 2012; CUTILLAS et al., 2009).

O modelo EPIC estima a erodibilidade usando dados granulométricos e o conteúdo de carbono orgânico do solo como variáveis de entrada e pode ser aplicado quando há insuficiência de dados disponíveis sobre textura do solo, enquanto o modelo Shirazi considera apenas o diâmetro médio geométrico do tamanho das partículas minerais do solo, dependendo da disponibilidade de informações referentes ao cálculo do tamanho geométrico (SHIRAZI et al., 1988). Já o modelo Torri, considera também o diâmetro médio geométrico do tamanho das partículas minerais e teor de argila e matéria orgânica do solo (TORRI et al., 1997).

### ***Estimativa pelo modelo EPIC***

No modelo de impacto da erosão sobre a produtividade (EPIC), desenvolvido por Williams (1995), o fator K é calculado utilizando a Equação 2.

$$K = \left[ 0,2 + 0,3e^{-0,0256SAN\left(1-\frac{SIL}{100}\right)} \right] \left( \frac{SIL}{CLA+SIL} \right)^3 \left( 1,0 - \frac{0,25C}{C+e^{3,72-2,95C}} \right) \left( 1,0 - \frac{0,7SN_1}{SN_1 + e^{-5,51+22,9SN_1}} \right) \text{(Eq. 2)}$$



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Em que: SAN = representa a porcentagem do conteúdo de areia; SIL = silte; CLA = argila; C = carbono orgânico; e  $SN_1$  = representa o produto da equação  $(1 - SAN / 100)$ . O valor K resultante é apresentado no sistema tradicional de unidades (ROWLETT, 2000), em short ton. ac. h/(100 ft. short ton.ac.in).

### ***Estimativa pelo modelo Torri***

O modelo de Torri et al. (1997) foi desenvolvido a partir do ajuste de dados que descrevem o diâmetro médio geométrico das partículas, conteúdo de matéria orgânica e o teor de argila do solo. O modelo necessita de dados simples e de poucos parâmetros, conforme a Equação 3.

$$K = 0,0293(0,65 - D_g + 0,24D_g^2) \times \exp \left\{ -0,021 \frac{OM}{C} - 0,00037 \left( \frac{OM}{C} \right)^2 - 4,02C + 1,72C^2 \right\} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:  $OM$  e  $C$  são conteúdos de matéria orgânica do solo e de argila, respectivamente, em %. O valor de  $D_g$  foi obtido por meio da Equação 4.

$$D_g = \sum f_i \lg \sqrt{d_i d_{i-1}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:  $D_g$  = logaritmo Neperiano da média geométrica da distribuição do tamanho de partículas;  $d_i$  (mm) = diâmetro máximo da  $i$ -ésima classe;  $d_{i-1}$  (mm) =

diâmetro mínimo e  $f_i$  = fração de massa da classe correspondente de tamanho de partículas.

O  $D_g$  é calculado com base em três classes de tamanho de partículas: areia, silte e argila. Os valores de  $K$  resultantes são apresentados no Sistema Internacional de Unidades ( $t\text{ hm}^2\text{ h} / (\text{MJ mm hm}^2)$ ).

### ***Estimativa pelo modelo Shirazi***

Um modelo de estimativa do fator  $K$  adequado para cenários em que se tem dados insuficientes de atributos físicos e químicos dos materiais de solo é o de Shirazi et al. (1988). Os autores sugeriram que os valores de  $K$  podem ser calculados usando apenas o diâmetro médio geométrico ( $D_g$ ) das partículas do solo (Equação 5).

$$K = 7,594 \left\{ 0,0034 + 0,0405 e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\log(D_g) + 1,659}{0,7101} \right)^2} \right\} \quad (\text{Eq. 5})$$

Nesse modelo, o valor de  $D_g$  pode ser obtido por meio da Equação 6.

$$D_{g(\text{mm})} = e^{0,01 \sum f_i \ln m_i} \quad (\text{Eq. 6})$$

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Em que:  $f_i$  = porcentagem em peso da  $i$ -ésima fração de tamanho de partículas (%);  
 $m_i$  = média aritmética dos limites de tamanho de partículas para a fração  $i$  (mm). O valor K resultante do uso da fórmula original é expresso no sistema tradicional de unidades (Rowlett, 2000), em short ton. ac. h/(100 ft. short ton.ac.in).

### ***Análises estatísticas***

Os teores de areia total, silte e argila foram submetidos a análise de estatística com o uso da krigagem para verificar sua variabilidade a fim de determinar valores mínimos, máximos, médios, medianos, desvios-padrões, variâncias e coeficientes de variação.

Para comparação entre os diferentes modelos, todos os resultados do fator K expressos no Sistema Tradicional de Unidades foram multiplicados por 0,1317 para converter o valor do fator de erodibilidade do solo para o Sistema Internacional de Unidades ( $t\text{ hm}^2\text{ h}/(\text{MJ mm hm}^2)$ ).

Os valores obtidos a partir dos diferentes modelos de estimativa de erodibilidade do solo foram submetidos à análise de estatística descritiva, obtendo-se, média, mediana, desvio-padrão, máximo, mínimo, variância, assimetria, curtose e coeficiente de variação, utilizando-se o programa Microsoft Office Excel® 2019.

Utilizando-se o Software Surfer® versão 9.0 trial, foram gerados por meio de krigagem, os mapas de teores de areia total, silte e argila, e dos valores de K pelos

modelos EPIC (WILLIAMS, 1995), Shirazi (SHIRAZI et al., 1988) e Torri (TORRI et al., 1997) e, após, recortados com os limites da microbacia em estudo.

Para a comparação entre o parâmetro de referência e os diferentes modelos de estimativa da erodibilidade: EPIC, Torri e Shirazi, utilizou-se um modelo estatístico proposto por Taylor (2001), denominado Diagrama de Taylor. Através desse modelo foi possível construir uma estrutura gráfica com a quantificação do grau de similaridade entre dois campos: 1) campo de referência (observado) e 2) campo teste (simulado) e quantificar o quão próximo o campo simulado se assemelha ao campo observado. Essa comparação foi realizada por meio da raiz do erro quadrático médio (REQM), o desvio-padrão (DP) e o coeficiente de correlação (TAYLOR, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da utilização dos modelos estimativos de erodibilidade dos solos da microbacia de hidrográfica Vaca Brava realizado através da krigagem pode-se ser visualizado através da Figura 1 e da Tabela 1.

A estatística descritiva indica diferentes valores para o fator K dos solos da bacia para os três métodos avaliados.

Tabela 1. Variabilidade estatística dos modelos estimativos

Modelo	Variabilidade dos parâmetros (t hm <sup>2</sup> h/(MJ mm hm <sup>2</sup> ))							
	Mínimo	Média	Máxima	Mediana	$\sigma$	AS	Curtose	C.V. (%)
EPIC	0,0112	0,0187	0,0310	0,0187	0,0028	0,5654	1,8198	15,47
Torri	0,0219	0,0287	0,0374	0,0294	0,0036	-1,4341	6,8493	12,62
Shirazi	0,0099	0,0225	0,0439	0,0191	0,0107	0,6262	-0,9779	47,71

$\sigma$  = desvio-padrão; AS = coeficiente de assimetria; C.V. = coeficiente de variação.

No mapa de distribuição da estimativa pela modelagem EPIC (Figura 3), pode-se observar que os valores variam entre 0,011 a 0,031 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), distribuídos por toda a microbacia, e com valores entre 0,025 a 0,029 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>) localizados no centro da microbacia. O valor mínimo foi de 0,0112 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), máximo de 0,0310 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), com média geral de 0,0187 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), com desvio-padrão de 0,0028 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), e coeficiente de variação de 15,47% (Tabela 1).

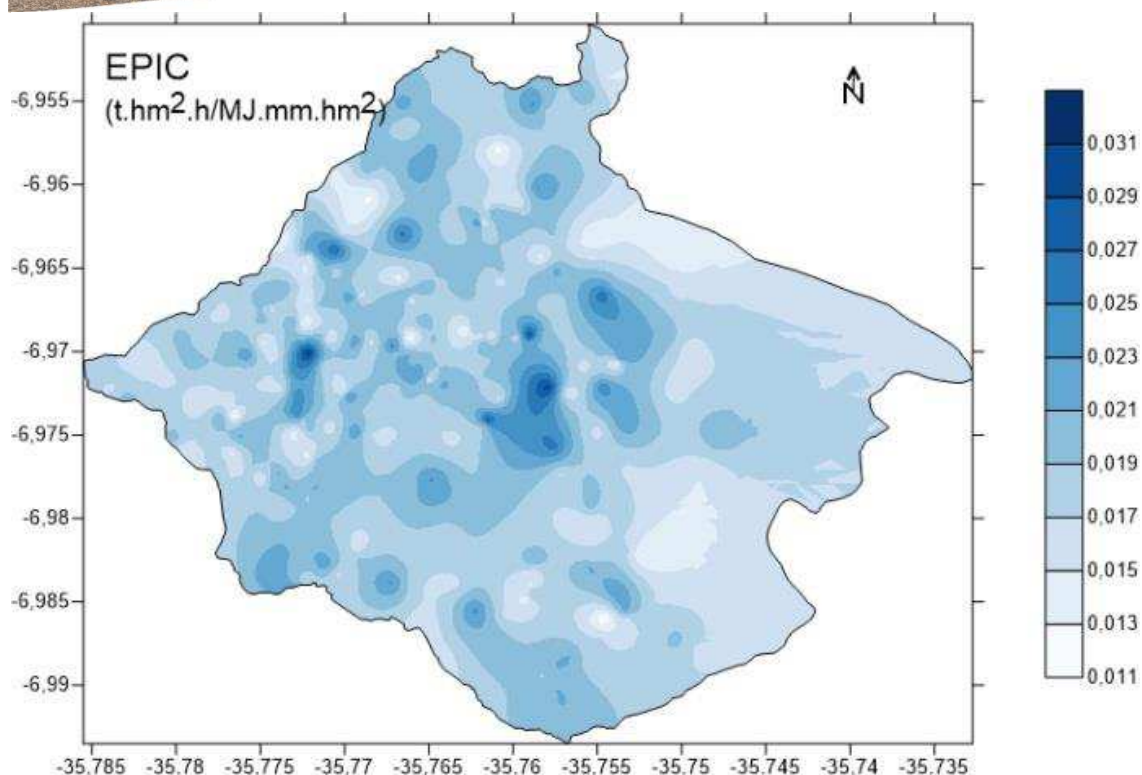


Figura 3. Mapa de distribuição da estimativa da erodibilidade (fator K) pelo modelo EPIC em  $t \cdot hm^2 \cdot h / (MJ \cdot mm \cdot hm^2)$ .

Para a condição específica de seu estudo, Dias e Silva (2015) observaram que as classes de solos Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos se mostraram mais suscetíveis à erosão. Em estudo sobre o mapeamento da deterioração ambiental em área de vegetação de Caatinga, Francisco et al. (2014) observaram que, nas condições em que o estudo foi realizado, a classe de erodibilidade alta foi verificada em Neossolos Litólicos e Luvisolos Crômicos, enquanto a classe muito alta geralmente estava relacionada ao baixo nível de proteção do solo pela vegetação.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

A cobertura do solo é de fundamental importância para amenizar o impacto das gotas de chuva. Francisco et al. (2013), estudando a bacia hidrográfica do rio Taperoá, observaram que a classe de risco de erosão muito alta estava relacionada à baixa cobertura do solo pela vegetação. A utilização de plantas com alto índice de cobertura do solo e elevada produtividade de fitomassa propicia melhor proteção ao solo, amortecendo o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo reduzindo, conseqüentemente, os processos erosivos (Cardoso et al., 2012). O efeito da cobertura florestal na redução da perda de solo anual é variável, em função da declividade média da microbacia e da largura da faixa das áreas de preservação permanente (Mingoti & Vetorazzi, 2011).

Em estudo avaliando a erodibilidade do solo em terras pretas estruturadas, Lourenço et al. (2020), observaram valores médios variando de 0,0893 a 0,0983  $\text{Mg ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ , para pastagem e floresta, respectivamente. Esses valores são considerados altos, sendo superiores aos valores médios encontrados no presente estudo. Esse resultado demonstra que a adoção de sistemas de manejo conservacionistas e a redução do impacto ambiental sobre as áreas de floresta é primordial para o controle da erosão e manutenção das funções ecossistêmicas do solo.

No mapa de distribuição da estimativa pela modelagem Torri (Figura 4), que utiliza os atributos físicos e químicos do solo, pode-se observar que os valores variam entre 0,023 a 0,032  $\text{t hm}^2 \text{h}/(\text{MJ mm hm}^2)$ , distribuídos por toda a bacia, e com menores valores entre 0,002 a 0,008  $\text{t hm}^2 \text{h}/(\text{MJ mm hm}^2)$  no centro da microbacia. O valor mínimo de 0,0294  $\text{t hm}^2 \text{h}/(\text{MJ mm hm}^2)$ , máximo de 0,0374 t

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

$\text{hm}^2 \text{ h}/(\text{MJ mm hm}^2)$ , com média de  $0,0287 \text{ t hm}^2 \text{ h}/(\text{MJ mm hm}^2)$ , desvio-padrão de  $0,0036 \text{ t hm}^2 \text{ h}/(\text{MJ mm hm}^2)$ , e coeficiente de variação de 12,62%, podem ser observados na Tabela 1.

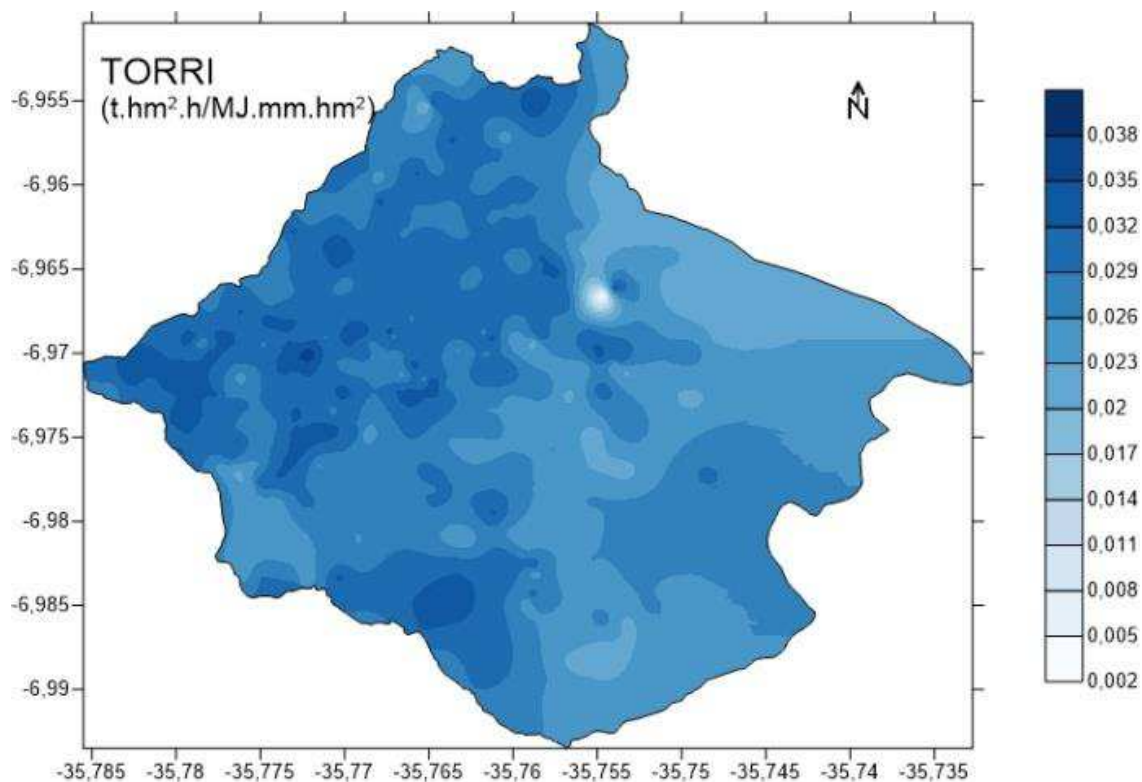


Figura 4. Mapa de distribuição da estimativa da erodibilidade (fator K) pelo modelo Torri em  $\text{t hm}^2 \text{ h}/(\text{MJ mm hm}^2)$ .

Avaliando a incerteza e a previsibilidade do fator de erodibilidade do solo usando conjunto global de dados, Torri et al. (1997), observaram que essa abordagem não ofereceu informações suficientes sobre a distribuição dos valores de K observados. Para esses autores, o conhecimento do erro associado à



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

estimativa do valor de K pode ser usado em muitos casos, particularmente quando as classes de risco de erosão devem ser determinadas.

No mapa de distribuição da estimativa pela modelagem Shirazi (Figura 5), pode-se observar que os valores variam entre 0,008 a 0,047 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), distribuídos por toda a microbacia. Os maiores valores estão concentrados na região nordeste, enquanto os menores valores variaram de 0,008 a 0,023 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), na região sudeste da área. O valor mínimo de 0,0099 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), máximo de 0,0439 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), com média de 0,0225 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>), desvio-padrão de 0,0107 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>) e coeficiente de variação de 47,71%, podem ser observados na Tabela 1.

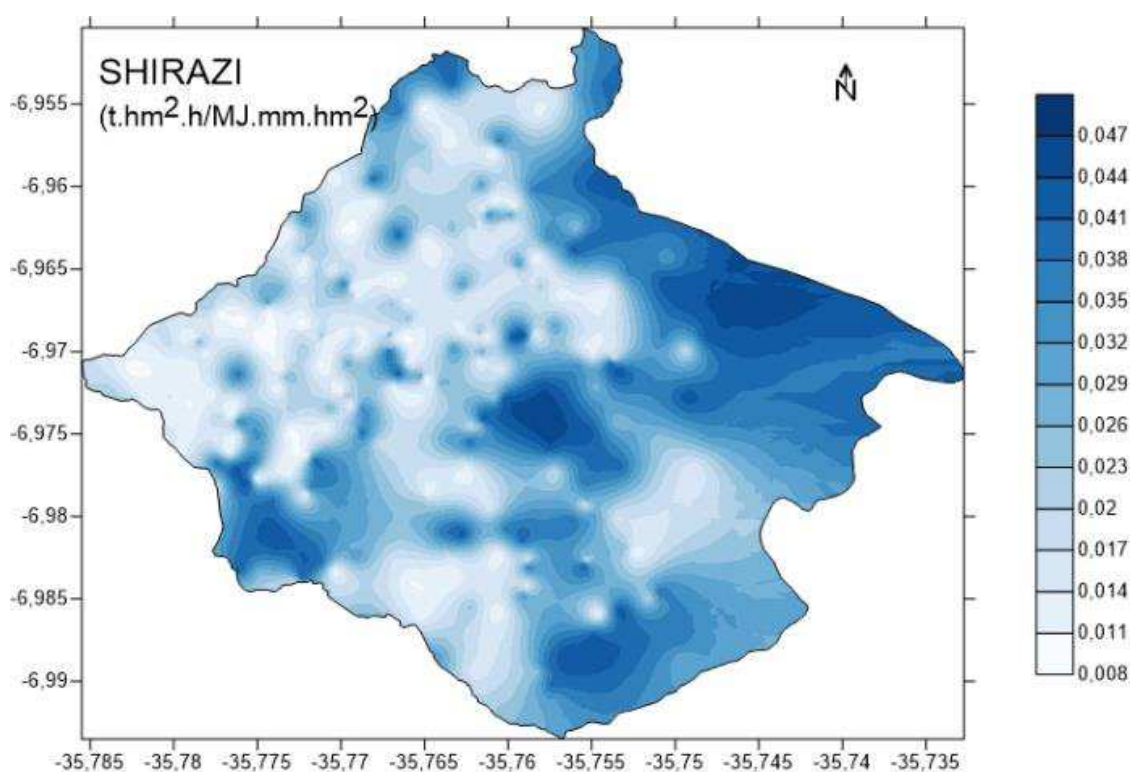


Figura 5. Mapa de distribuição da estimativa da erodibilidade (fator K) pelo modelo Shirazi em  $t\text{ hm}^2\text{ h}/(\text{MJ mm hm}^2)$ .

De acordo com Francisco e Chaves (2017), 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.

Os resultados encontrados para os valores de erodibilidade (fator K) demonstram diferentes estimativas (Tabela 1). Tendo em vista que, os diferentes métodos de estimativa utilizam distintos atributos do solo como dados de entrada, observa-se que os coeficientes de variação dos modelos tenderam a resultados diferentes.

A diferença entre os valores médios são de 0; 0,0007 e 0,0034  $t\text{ hm}^2\text{ h}/(\text{MJ mm hm}^2)$  para os métodos EPIC, Shirazi e Torri, respectivamente. Os valores de desvio-padrão do fator K para cada modelo são de 0,0028 para o EPIC; 0,0036 para Torri e 0,0107 para Shirazi. Os coeficientes de variação para os valores de K são de 15,47% para o EPIC, 12,62% para Torri e 47,71% para Shirazi.

Utilizou-se o modelo de EPIC como parâmetro de referência no diagrama de Taylor devido a menor variação estatística dos dados dentre os três modelos avaliados (Tabela 1).

Os resultados da comparação dos distintos modelos para estimativa do fator K são apresentados no diagrama de Taylor (Figura 6), em que são

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

demonstrados a raiz do erro quadrático médio (REQM), o desvio-padrão (DP) e o coeficiente de correlação.

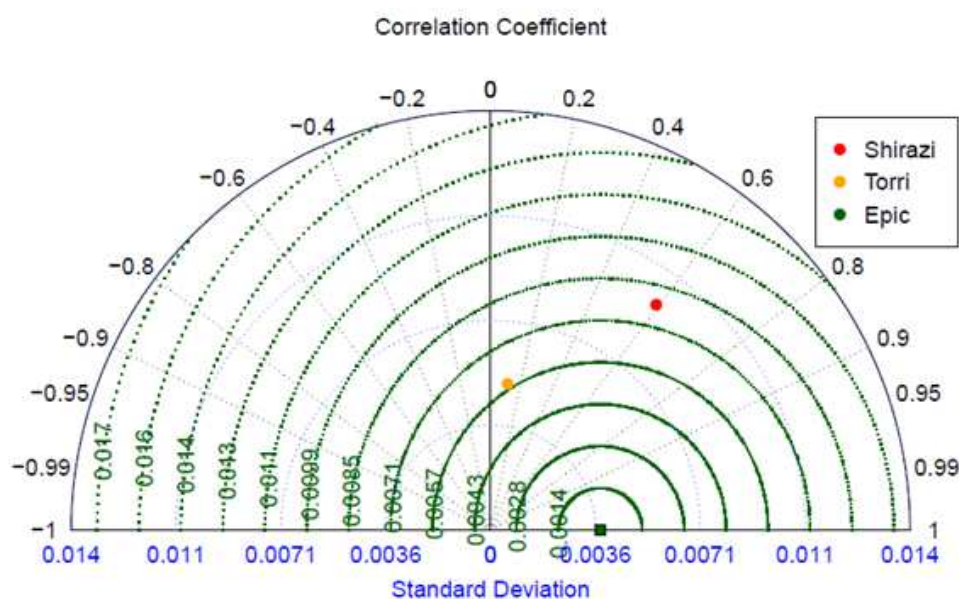


Figura 6. Diagrama de Taylor quanto aos valores K estimados pelos modelos.

Conforme o diagrama de Taylor observa-se diferença no desvio-padrão (DP) e raiz do erro quadrático médio (REQM) entre os modelos Torri e Shirazi, em que ambos apresentam o mesmo parâmetro de entrada, ou seja, o diâmetro médio geométrico das partículas minerais do solo ( $D_g$ ). Entretanto, o modelo de Torri contempla também os valores de argila e matéria orgânica.

Em estudo conduzido nas parcelas experimentais das bacias hidrográficas de Sázava e Vltava, localizadas na República Tcheca, Kadlec et al. (2012), constataram que a matéria orgânica do solo é importante atributo para estimar o fator de erodibilidade do solo. Nesse estudo, os autores verificaram que a matéria

orgânica influenciou expressivamente a redução de perda de solo por erosão e a quantidade de escoamento superficial.

O desvio-padrão do modelo Torri está mais próximo dos valores estimados pelo modelo EPIC do que dos valores estimados pelo modelo Shirazi, embora o modelo de Shirazi apresente coeficiente de correlação próximo do modelo de EPIC. Por sua vez, a estimativa do fator K pelo modelo de Torri está mais próxima dos valores estimados pelo modelo EPIC.

Levando-se em consideração a escolha do modelo EPIC como parâmetro de referência inserido no diagrama de Taylor, bem como os valores de DP e REQM, e ainda, o número de variáveis de cada modelo, pode-se afirmar que o modelo Torri é o que mais se aproxima do modelo EPIC. Desta forma, tanto o modelo de EPIC quanto o modelo Torri podem ser usados para estimar o fator de erodibilidade do solo para aplicação em estudos de avaliação das perdas de solo nas áreas da microbacia hidrográfica de Vaca Brava, por meio da EUPS.

Para avaliar o grau de aplicabilidade do uso dos modelos EPIC, Torri, NOMO e Shirazi, Zhang et al. (2018) compararam os seus resultados com dados de erodibilidade determinados diretamente em campo em solos da China. Conforme os resultados obtidos pelos autores, os métodos EPIC e Shirazi apresentaram diferentes faixas de erros. Segundo Zhang et al. (2018), a escolha do modelo de Shirazi et al. (1988), levou em consideração os resultados obtidos dos menores erros nos valores de desvio-padrão, raiz do erro quadrático médio, coeficiente de correlação e menor variabilidade do fator K encontrado, comparado aos demais modelos analisados.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

Para determinar as diferenças dos valores de erodibilidade dos solos na bacia hidrográfica do rio Segura, na Espanha, Cutillas et al. (2009), utilizaram três modelos matemáticos propostos por: Römken et al. (1986); Torri et al. (1997) e Wang et al. (2013), e dois métodos (um de modelagem com variáveis ambientais e outro com uso dos valores do fator K), obtidos por meio do mapeamento de atributos empíricos de solo. Em ambas os métodos, os autores verificaram que o modelo de Torri et al. (1997) apresentou tendência de maior estabilidade em áreas de solos com coberturas heterogêneas.

Ao conduzirem trabalhos na área da bacia hidrográfica de Ansai, Planalto de Loess, localizado na China, Wei e Zhao (2017), calcularam os valores do fator K usando cinco modelos: EPIC, NOMO, M-NOMO; Torri e Shirazi. NOMO e M-NOMO significam Nomograma original e Nomograma modificado de Wischmeier e Smith (1972), respectivamente. Os resultados observados mostram que, em comparação aos outros modelos, o de Shirazi apresentou a maior aplicabilidade regional, seguido pelo modelo EPIC. Na simulação dos valores, e até mesmo na pesquisa de avaliação da erosão do solo, o modelo Shirazi foi considerado o de melhor precisão na predição do valor do fator K, resultando em valores mais próximos da situação real, embora os autores não tenham apresentado os valores de K determinados em campo. Zhang et al. (2018), verificaram que o modelo Shirazi foi o que melhor se adaptou para aplicação em escalas de microbacia e regional.

No estudo de estimativa do fator K de solos distribuídos em áreas montanhosas do sul da China, usando os modelos Nomo, M-NOMO, RUSLE2, EPIC, Shirazi e Torri, Zhang et al. (2009), constataram que o modelo Torri apresentou a

menor incerteza de predição do valor K, e o modelo Shirazi a maior incerteza de predição. Por apresentar a menor incerteza de predição, os autores atribuíram a melhor estimativa do fator erodibilidade do solo ao modelo de Torri.

Em uma comparação com base de dados de 51 parcelas de erosão com valores determinados em campo, representando as principais regiões da China, e com valores estimados pelos modelos USLE, EPIC e RUSLE2, Wang et al. (2012) mostraram que os modelos, em sua quase totalidade, tenderam a superestimar os valores de K. Os modelos USLE e EPIC superestimaram o valor de K em 93,6 e 96,2%, em média, respectivamente; RUSLE2 superestimou os valores de K em 54,4%, em média; porém, quando o valor de K observado foi maior do que 0,32, o modelo RUSLE2 subestimou os valores de K. De acordo com os autores, estudos recentes destacam a falta de dados de valores do fator K de calibrações de ajuste, ocorrendo uma previsão de superestimação ou de subestimação das taxas de erosão do solo.

Levando-se em consideração a escolha do modelo EPIC como parâmetro de referência inserido no diagrama de Taylor (Figura 3) bem como os valores de DP e REQM, e ainda, o número de variáveis de cada modelo, pode-se afirmar que o modelo Torri é o que mais se aproxima do modelo EPIC. Desta forma, tanto o modelo de EPIC quanto o modelo Torri podem ser usados para estimar o fator de erodibilidade do solo para aplicação em estudos de avaliação das perdas de solo nas áreas da microbacia hidrográfica de Vaca Brava, por meio da EUPS.

## CONCLUSÃO

O uso da krigagem permitiu mapear e prognosticar adequadamente a erodibilidade dos solos da bacia em estudo.

A estimativa da erodibilidade (fator K), foram verificados os valores médios de 0,0187, 0,0287 e 0,0225 t hm<sup>2</sup> h/(MJ mm hm<sup>2</sup>) para os modelos EPIC, Torri e Shirazi, respectivamente, sendo o modelo EPIC o de melhor ajuste dos dados, seguido pelo modelo de Torri.

Quanto à variabilidade dos parâmetros de erodibilidade, o modelo de estimativa que apresentou os menores valores de coeficiente de variação e desvio-padrão foi o EPIC, seguido dos modelos Torri e Shirazi.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, n.2, p.711-728, 2013.

ANDRADE, L. A.; MACHADO, C. C. C. Diagnóstico geoambiental integrado do município de Areia, Paraíba, como subsídio para o planejamento e gestão

ambiental: caracterização do uso e cobertura da terra no município de Areia-PB.

24f. Universidade Federal da Paraíba. Areia. 2018.

BERTOL; I.; CASSOL; E.; MERTEN; G. H. Modelagem e modelos utilizados para estimar a erosão do solo. In: Bertol, I.; Maria, I.C. de; Souza, L. da S. Manejo e conservação de solo e da água. Viçosa: SBCS, 2019. 1355p.

BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). Geomática: modelos e aplicações ambientais. Brasília: Embrapa, 2007. p.193-234.

BLANCO, H.; LAL, R. Principles of soil conservation and management. New York: Springer. 2008.

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, 2006.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, JR. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.6, p.632-638, 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. GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, v.23, p.71-96, 2019.



FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Status of the World's Soil Resources. Main report. Roma, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>. Acesso em: 13 de janeiro de 2021.

FARIAS, L. C. de. Diagnóstico físico-conservacionista das terras e a percepção comunitária – Bacia hidrográfica da barragem Vaca Brava–Areia, PB. 127f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2006.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. 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. B.; CHAVES, L. H. G.; BRANDÃO, Z. N.; LIMA, E. R. V.; SILVA, B. B. 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.; MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, D. Análise e mapeamento dos índices de umidade, hídrico e aridez através do BHC para o estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.4, p.1093-1108, 2015.

FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. N.; MORAES NETO, J. M. Mapeamento da deterioração ambiental em área de vegetação Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.2, p.304-318, 2014.

FRANCISCO; P. R. M.; PEDROZA; J. P.; BANDEIRA; M. M.; SILVA; L. L. DA; SANTOS, D. Mapeamento da insolação do Estado da Paraíba utilizando krigagem. *Revista de Geografia*, v.33, n.1, p.248-262, 2016.

## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 de dezembro de 2020.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil. Normais climatológicas do Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>.

Acesso em: 12 de dezembro de 2020.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13, 2002, Ouro Preto. Anais...Ouro Preto, 2002.

KADLEC, V.; HOLUBÍK, O.; PROCHÁZKOVÁ, E.; URBANOVÁ, J.; TIPPL, M. Soil organic carbon dynamics and its influence on the soil erodibility factor. Soil and Water Research, v.7, n.3, p.97-108, 2012.

MINGOTI, R.; VETTORAZZI, C. A. Relative reduction in annual soil loss in micro watersheds due to the relief and forest cover. Engenharia Agrícola, v.31, n.6, p.1202-1211, 2011.

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.1, p.138-158, 2017.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. 3. ed. Londres: Blackwell Science, 2015. 304p.

RÖMKENS, M. J. M. et al. 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. 407p. (Agriculture Handbook, n. 703).

ROWLETT, R. A dictionary of units of measurement. University of North Carolina at Chapel Hill. 2000.

SANTOS, A. C. DOS. Fertilidade de solo e redistribuição de <sup>137</sup>Cs em função da cobertura vegetal, relevo e classes texturais, em uma microbacia hidrográfica do Estado da Paraíba. 67f. Tese de Doutorado (Doutorado em Tecnologia Energéticas e Nucleares). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004.

SHIRAZI, M. A.; BOERSMA, L.; HART, J. W. A unifying quantitative analysis of soil texture: improvement of precision and extension of scale. Soil Science Society of America Journal, v.52, n.1, p.181-190, 1988.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI JUNIOR, N.; AVANZI, 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, B. T. Uso de geotecnologias na determinação das condições ambientais e do assoreamento ao açude Vaca Brava, Areia-PB. 68p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2012.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.

TORRI, D.; POESEN, J.; BORSELLI, L. Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena*, v.31, n.1-2, p.1-22, 1997.

WANG, B.; ZHENG, F.; RÖMKENS, M. J. M. Comparison of soil erodibility factors in USLE, RUSLE2, EPIC and Dg models based on a Chinese soil erodibility database. *Acta Agriculturae Scandinavica*, v.63, n.1, p.69-79, 2012.

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.

WILLIAMS, J. R. The erosion-productivity impact calculator (EPIC) model: a case history. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, v.329, v.1255, p.421-428, 1990.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion loss: a guide to conservation planning. U.S. Department Agric. Washington D.C. 1978. 58p. Handbook. No. 537.

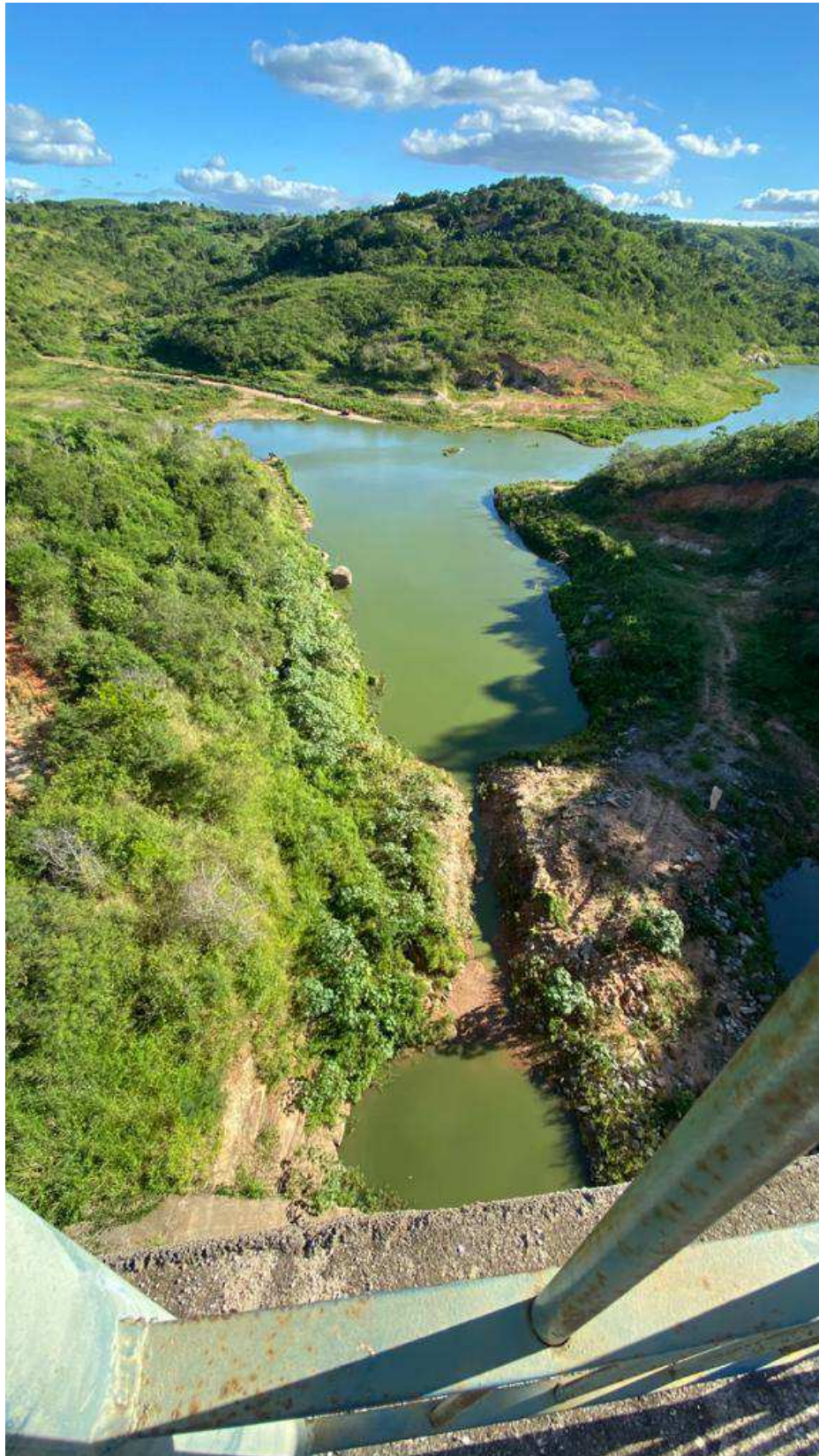
ZHANG, X.; ZHAO, W.; WANG, L.; LIU, Y.; FENG, Q.; FANG, X.; LIU, Y. Distribution of shrubland and grassland soil erodibility on the Loess Plateau. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v.15, n.6, p.1193-1193, 2018.

# ***BANCO DE IMAGENS***

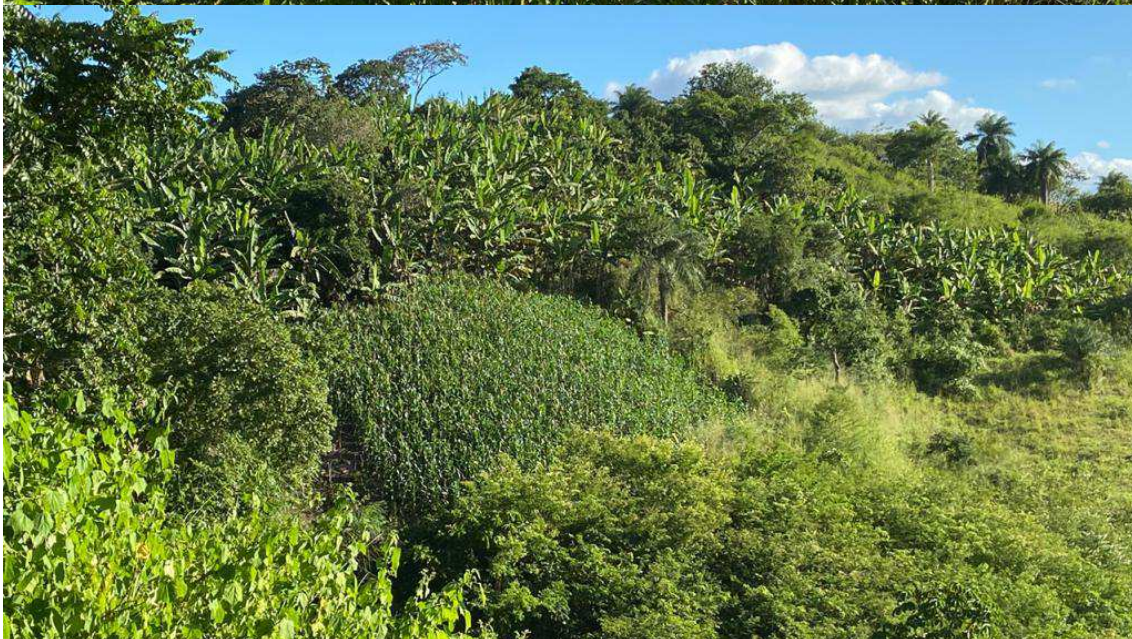
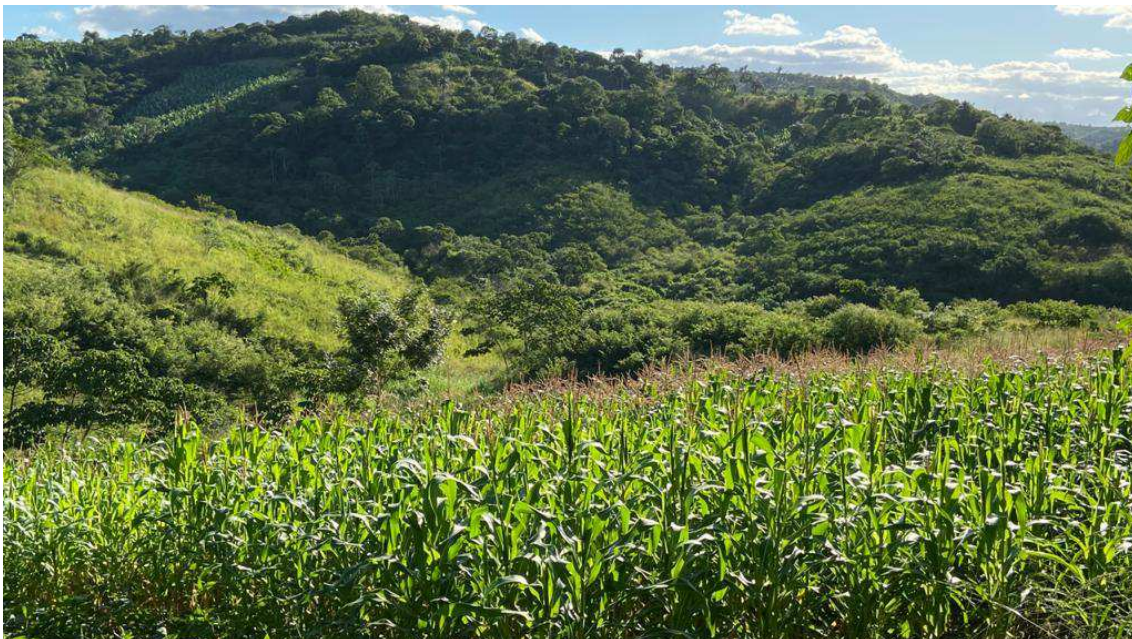
Crédito das imagens obtidas por Djail Santos em 25/05/2021



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

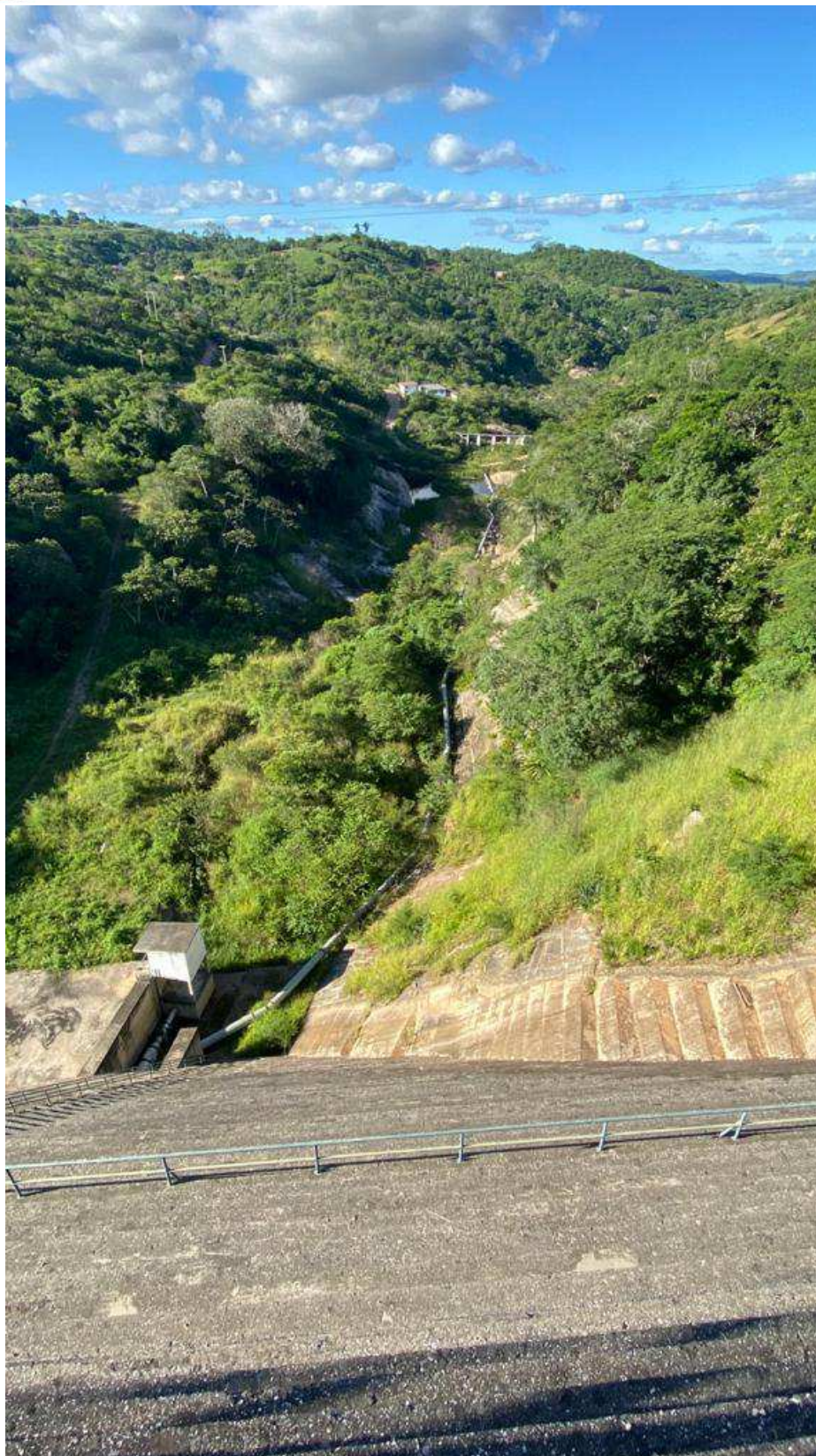




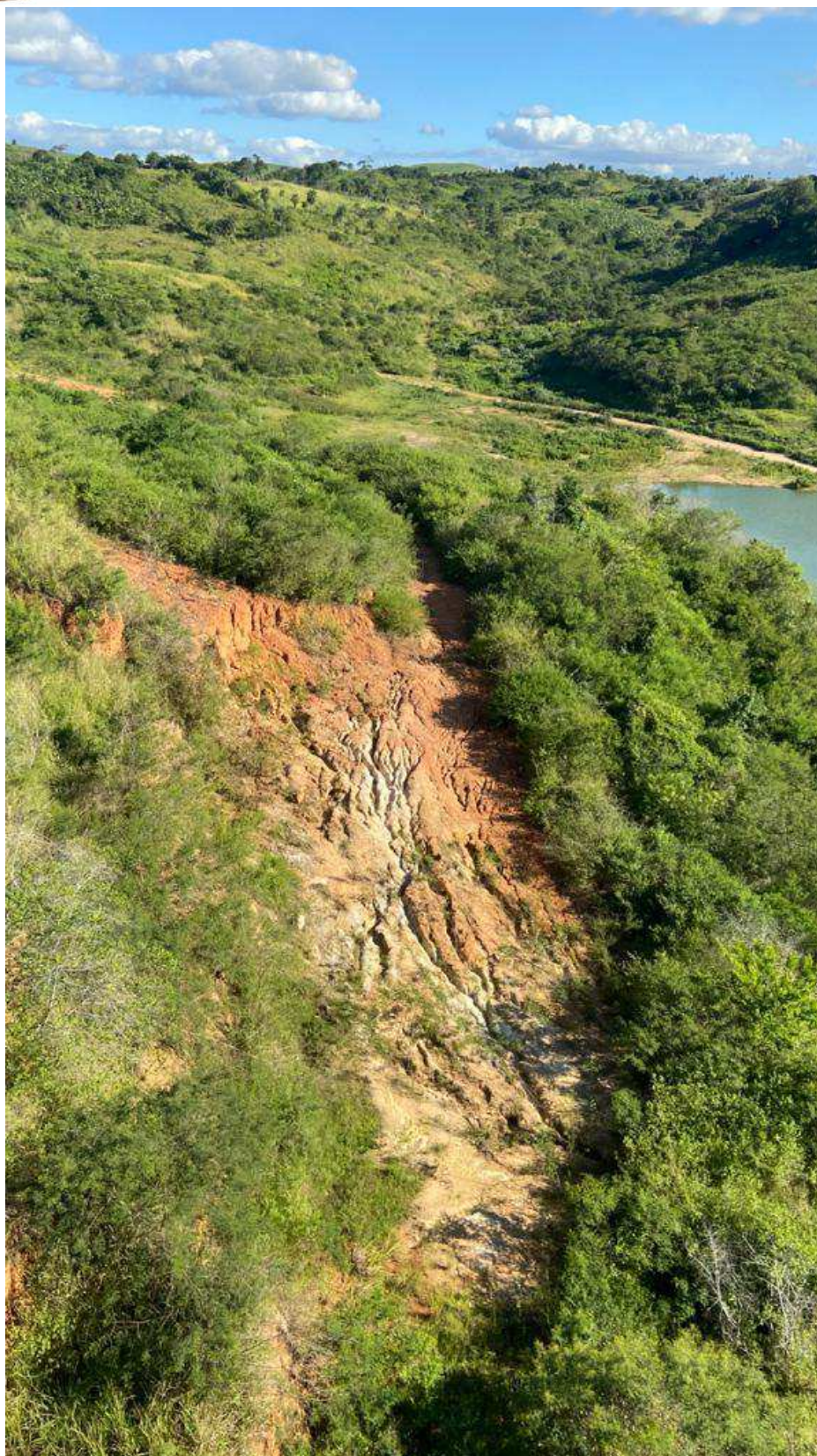
## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



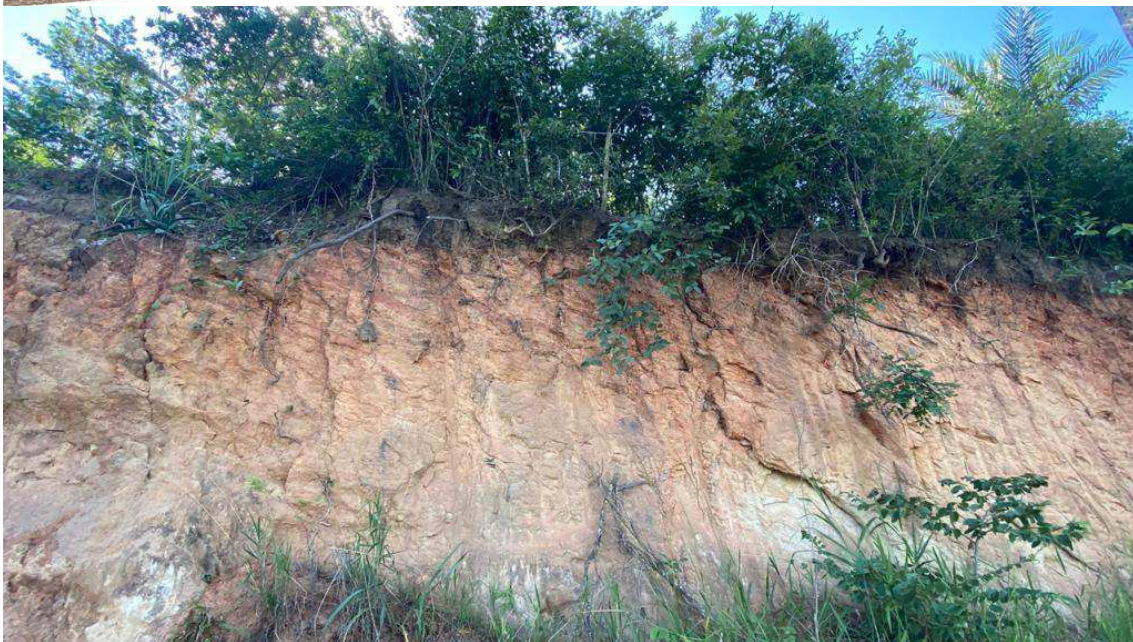
## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava



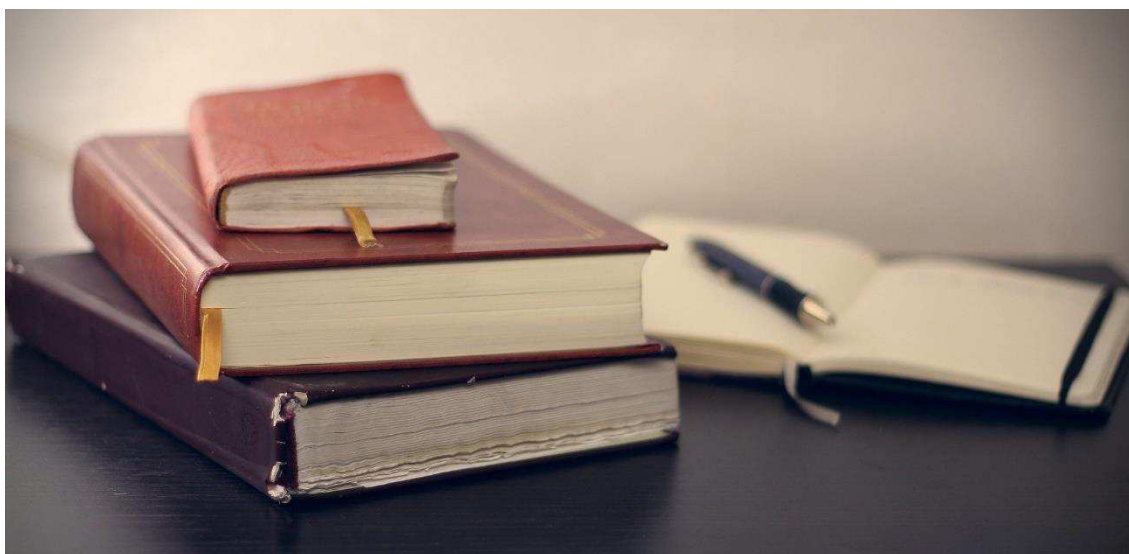
## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava





## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava





## ***Curriculum dos Autores***

***Antônio Clementino dos Santos:*** Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (1997), mestrado em Manejo de Solo e Água pela Universidade Federal da Paraíba (2000) e doutorado em Ciências - Tecnologias Energéticas e Nucleares (Radioisótopos/Fertilidade do solo) pela Universidade Federal de Pernambuco (2004). Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal do Norte do Tocantins. Foi Vice-diretor do Núcleo Amazônia Oriental da SBCS na Gestão 2018-2022. Atuou como Diretor do Núcleo Regional da Amazônia Oriental (TO, PA, AP, MA) e do Conselho Diretor da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo nas gestões de 2011 a 2013 e de 2013 a 2015. Participa da SBCS desde o ano de 1996 - Pesquisador CNPq - Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2, desde 2007. Foi coordenador do Curso de Zootecnia de novembro 2004 a maio de 2007. Atual Coordenador do Laboratório de Solos do Campus de Araguaína/UFT e do Campo Agrostológico. Atua nos Programas de Pós-Graduação em Zootecnia nos Trópicos Tropical -



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

*UFT (Mestrado e Doutorado) - Linha: Relação Solo x Planta x Animal e no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - UFT (Mestrado e Doutorado) - Linha: Manejo e Conservação do Solo. Tem experiência na área de Fertilidade do Solo e nutrição mineral de plantas, atuando principalmente nos seguintes temas: relação solo x planta x animal, manejo de pastagens, manejo do solo, geoestatística, adubação e áreas degradadas.*

***clementino@uft.edu.br***

***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***

**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](mailto:flavio.oliveira@academico.ufpb.br)**

**Paulo Roberto Megna Francisco:** Atuou como Pesquisador de Desenvolvimento Científico Regional de Interiorização na Universidade Federal da Paraíba - UFPB - CCA/Areia. Graduando em 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 Graduação em Tecnologia Agrícola - Mecanização pela Universidade



## Erodibilidade e erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava

*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. Atuando atualmente como pesquisador e colaborador em projetos junto à UFPB Campus de Areia e Campus de João Pessoa, UFCG - Campus de Campina Grande e Campus de Sumé. Tem experiência em classificação técnica e mapeamento de solos, aptidão agrícola, 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. Atualmente é Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do CONTECC. Editor Chefe da Editora Portal Tecnológico-EPTEC.*

***paulomegna@gmail.com***

***Thiago Pereira de Brito:*** *Graduado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba, UFPB. Atuando com ênfase nas áreas de manejo e conservação do solo e arborização urbana.*

***tpereiradebrito@gmail.com***

