ESTIMATIVA DA ERODIBILIDADE DOS SOLOSDA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DE VACA BRAVA, AREIA-PB

THIAGO PEREIRA DE BRITO[1], DJAIL SANTOS[2], PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO[3], ANTONIO CLEMENTINO DOS SANTOS[4], FLAVIO PEREIRA DE OLIVEIRA[5]

[1]Eng. Agron., UFPB, Areia-PB, tpereiradebrito@gmail.com
[2]Prof. Dr. Titular, CCA, UFPB, Areia-PB, santosdj@cca.ufpb.br
[3]Dr. em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com
[4]Prof. Dr. Associado, UFT, Palmas-TO, clementino@uft.edu.br
[5]Prof. Dr. Associado, CCA, UFPB, Areia-PB, pereira@cca.ufpb.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este trabalho objetivou modelar e estimar o potencial de erosão dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava e mapear utilizando método estatístico de interpolação de krigagem. Para a determinação do fator K dos solos foi utilizado o método indireto a partir dos modelos matemáticos EPIC, Torri e Shirazi. Na variabilidade dos parâmetros de erodibilidade o modelo de estimativa que apresentou a menor variabilidade foi o EPIC seguido pelos modelos Torri e Shirazi. Desta forma, tanto o modelo EPIC quanto o modelo Torri podem ser usados para estimar o fator de erodibilidade do solo na avaliação das perdas de solo nas áreas da microbacia hidrográfica de Vaca Brava.
PALAVRAS-CHAVE: risco de erosão, erosão potencial, krigagem, bacia hidrográfica.

ESTIMATION OF SOIL ERODIBILITY IN THE VACA BRAVA WATERSHED, AREIA-PB

ABSTRACT: This work aimed to model and estimate the potential for soil erosion in the Vaca Brava watershed and map it using the statistical method of kriging interpolation. For the determination of the K factor of the soils the indirect method was used from the mathematical models EPIC, Torri and Shirazi. In the variability of the erodibility parameters the estimation model that presented the least variability was EPIC followed by Torri and Shirazi models. Thus, both the EPIC model and the Torri model can be used to estimate the soil erodibility factor in the evaluation of soil losses in the areas of the Vaca Brava watershed.
KEYWORDS: erosion risk, potential erosion, kriging, watershed.

INTRODUÇÃO

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 competividade 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 (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, 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 experimentos em campo com chuva natural, em parcelas permanentes para estudode 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 caraterizados como padrões para expressar a erodibilidade do solo, sendo o seu uso recomentado 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).

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 de Krigagem.

MATERIAL E MÉTODOS

A microbacia hidrográfica da Vaca Brava está localizada na região do Brejo Paraibano, nos contrafortes do Planalto da Borborema, a área apresenta altitude média de 637 m (Santos, 2004) (Figura 1a). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo As' tropical com chuvas de inverno (Alvares et al., 2013), com precipitação média anual de 1370,9 mm (INMET 2020) e apresenta uma área de 14,043 km^2.

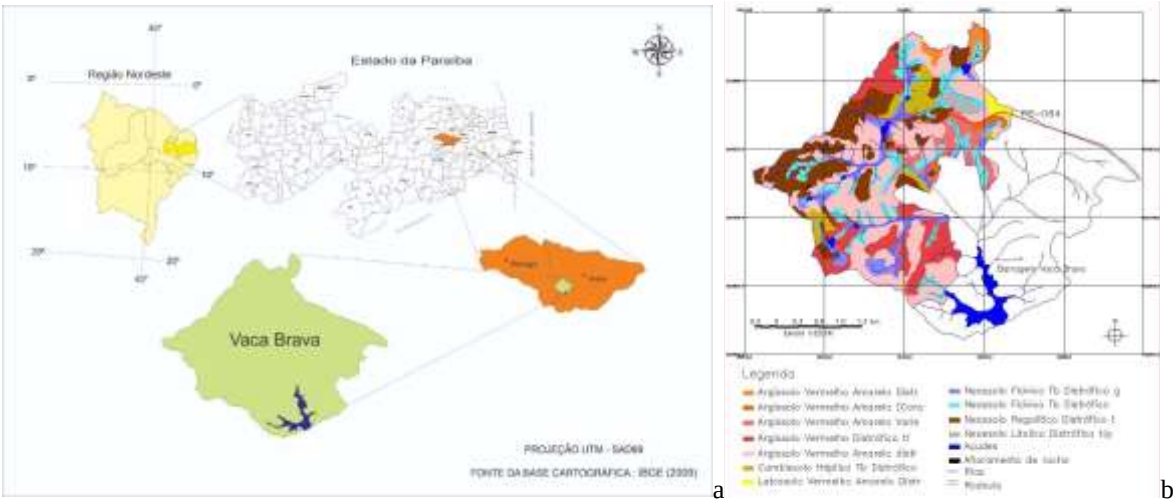

Figura 1. a) Localização da bacia de Vaca Brava; b) solos da bacia. Fonte: adaptado de IBGE (2009); Farias (2006).

A área de estudo se encontra 50% florestal localizada no Parque Estadual Mata do Pau-Ferro (Andrade & Machado, 2018) enquanto a outra parte sob uso antrópico, compreende por capoeira, reflorestamento com sabiá e de uso agropecuário (Santos, 2004). Os solos predominantes de acordo com Campos e Queiroz (2006) são o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abruptico; Neossolo Litólico Eutrófico típicos; Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico, respectivamente (Figura 1b).

O banco de dados utilizado para este trabalho foi de Santos (2004) com 360 amostras de solo (0-20 cm), em pontos georreferenciados.

Para a determinação do fator K dos solos foi utilizado o método indireto a partir dos modelos matemáticos de impacto da erosão sobre a produtividade (EPIC) (Equação 1), desenvolvido por Williams et al. (1990); do modelo de Torri et al (1997) (Equações 2 e 3) que utiliza os atributos físicos e químicos do solo; e do modelo de Shirazi et al. (1988) (Equações 4 e 5) que utilizada o diâmetro médio geométrico das frações granulométricas do solo.

$$K = \left[0.2 + 0.3e^{-0.0256\mathrm{SAN}\left(1-\frac{SIL}{100}\right)}\right]\left(\frac{\mathrm{SIL}}{\mathrm{CLA+SIL}}\right)^3\left(1.0 - \frac{0.25\mathrm{C}}{C+e^{3.72-2.95C}}\right)\left(1.0 - \frac{0.7\mathrm{SN}_1}{SN_1 + e^{-5.51+22.9SN_1}}\right) \quad \text{(Eq. 1)}$$

em que: SAN = representa a porcentagem do conteúdo de areia, SIL = silte, CLA =argila, C = carbono orgânico, e SN1 = representa o produto da equação (1-SAN / 100). O valor K resultante no sistema tradicional de unidades (Rowlett, 2000), short ton.ac. h / (100 ft. short ton.ac.in).

$$K = 0.0293\left(0.65 - D_g + 0.24D_g^2\right) X \exp\left\{-0.021\frac{OM}{C} - 0.00037\left(\frac{OM}{C}\right)^2 - 4.02C + 1.72C^2\right\} \text{ (Eq. 2)}$$

em que: OM e C são conteúdos de matéria orgânica do solo e de argila, respectivamente, em %. O valor de Dg foi obtido por meio da Equação 3.

$$D_{g=} \sum f_i \ \lg\sqrt{d_i d_{i-1}} \text{ (Eq. 3)}$$

em que: Dg = 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 partícula.

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 hm^2 h/(MJ mm hm^2)).

$$K = 7.594\left\{0{,}0034 + 0{,}0405e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(D_g)+1{,}659}{0.7101}\right)^2}\right\} \text{ (Eq. 4)}$$

$$D_{g\,(mm)} = e^{0.01\sum f_i \ln m_i} \text{ (Eq. 5)}$$

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

Para comparação entre os diferentes modelos, todos os resultados expressos no sistema tradicional de unidades foram multiplicados por 0,1317 para converter no Sistema Internacional de Unidades dos valores K (t hm^2 h/(MJ mm hm^2)).

Utilizando-se o Software Surfer© versão 9.0 trial, foram gerados por meio do método de interpolação de krigagem, os mapas dos valores de K pelos métodos EPIC, Shirazi e Torri, e após recortados com os limites da bacia em estudo.

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^2 h/(MJ mm hm^2))**							
	Mínimo	**Média**	**Máxima**	**Mediana**	**σ**	**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

σ = desvio-padrão; AS = coeficiente de assimetria; C.V. = coeficiente de variação.

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

No mapa de distribuição da estimativa pela modelagem Torri (Figura 2b), que utiliza os atributos físicos e químicos do solo, pode-se observar que os valores variam entre 0,023 a 0,032 t hm^2 h/(MJ mm hm^2), distribuídos por toda a bacia, e com menores valores entre 0,002 a 0,008 t hm^2 h/(MJ mm hm^2) no centro da microbacia. O valor mínimo de 0,0294 t hm^2 h/(MJ mm hm^2), máximo de 0,0374 t hm^2 h/(MJ mm hm^2), com média de 0,0287 t hm^2 h/(MJ mm hm^2), desvio-padrão de 0,0036 t hm^2 h/(MJ mm hm^2), e coeficiente de variação de 12,62%, podem ser observados na Tabela 1.

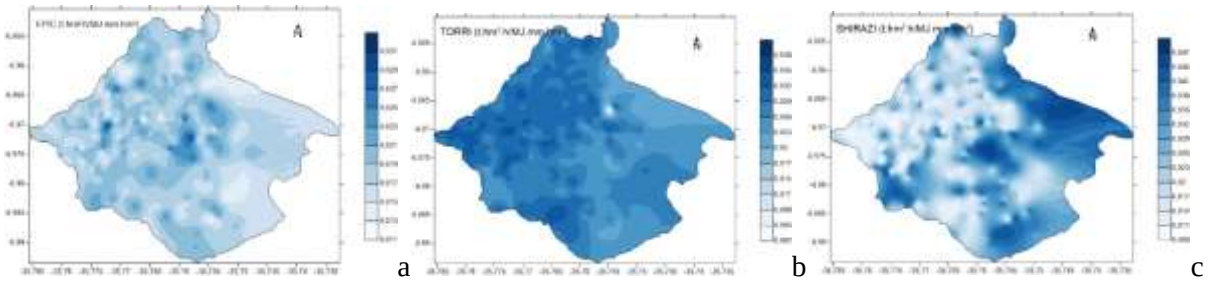

Figura 2. Mapa de distribuição da estimativa pela modelagem a) EPIC; b) Torri; c) Shirazzi.

No mapa de distribuição da estimativa pela modelagem Shirazi (Figura 2c), pode-se observar que os valores variam entre 0,008 a 0,047 t hm^2 h/(MJ mm hm^2), 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^2 h/(MJ mm hm^2), na região sudeste da área. O valor mínimo de 0,0099 t hm^2 h/(MJ mm hm^2), máximo de 0,0439 t hm^2 h/(MJ mm hm^2)**,** com média de 0,0225 t hm^2 h/(MJ mm hm^2), desvio-padrão de 0,0107 t hm^2 h/(MJ mm hm^2) e coeficiente de variação de 47,71%, podem ser observados na Tabela 1.

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 foram de 0; 0,0007 e 0,0034 t hm2 h/(MJ mm hm2) para os métodos EPIC, Shirazi e Torri, respectivamente. Os valores de desvio-padrão do fator K para cada modelo foram de 0,0028 para o EPIC; 0,0036 para Torri e 0,0107 para Shirazi. Os coeficientes de variação para os valores de K foram 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 3), em que são demonstrados a raiz do erro quadrático médio (REQM), o desvio-padrão (DP) e o coeficiente de correlação.

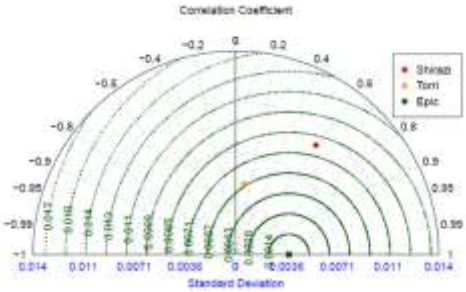

Figura 3. Diagrama de Taylor quanto aos valores K estimados pelos modelos.

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^2 h/(MJ mm hm^2) para os modelos EPIC, Torri e Shirazi, respectivamente, sendo o modelo EPIC o de melhor ajuste dos dados, seguido pelo modelo de Torri.

REFERÊNCIAS

Alvares, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, 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. et al. (Ed.). Manejo e conservação de solo e da água. Viçosa: SBCS, 2019. p.462-494.

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.

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.

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.

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.

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. p.65-99. (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 137-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. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, n.6, p.1811-1820, 2009.

Silva, M. L. N.; Curi, N.; Lima, J. M.; Ferreira, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. Pesq. 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.

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, n.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. Handb. No. 537, 1978. 58p.