Mercator, Fortaleza, v.20,e20023, 2021. ISSN:1984-2201

METODOLOGIAS INDIRETAS DE MENSURAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO E CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL

https://doi.org/10.36517/rm2021.e20023

César Gustavo da Rocha Lima [a*] - Vitor Matheus Bacani [b] - Rafael Montanari [c]
Erivelton Pereira Vick [d] - César Cardoso Ferreira [e] - Edson Rodrigo dos Santos da Silva [f]

(a) Doutor em Agronomia. Professor da Universidade Estadual Paulista Julio e Mesquita Filho, Ilha Solteira (SP), Brasil.
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1878-2912. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/4307049253982150.
(b) Doutor em Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas (MS), Brasil.
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8650-0780. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/4907195645708113.
(c) Doutor em Agronomia. Professor da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira (SP), Brasil.
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3557-2362. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/0673699867824241.
(d) Doutorando em Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas (MS), Brasil.
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2005-5765. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/6467588782615177.
(e) Doutorando em Geografia. Professor Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas (MS), Brasil.
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0846-9570. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/9115857359088715.
(f) Doutorando em Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas (MS), Brasil.
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6655-5269. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/2431935437155545.

Article history:
Received 08 April, 2020
Accepted 09 July, 2021
Published15 August, 2021

(*) CORRESPONDING AUTHOR
Address: UNESP. Alameda Bahia 550, CEP:15385000, Ilha Solteira(SP), Brasil. Tel:(+5518)37431201.
E-mail: cesar.lima@unesp.br

Resumo

O presente estudo objetivou analisar diferentes metodologias indiretas para mensuração da erodibilidade do solo, bem como caracterizar a sua variabilidade espacial na Bacia Hidrográfica do Rio Pântano (BHRP), Mato Grosso do Sul. Avaliou-se nove metodologias/adaptações aplicadas aos dados de 103 amostras de solo abrangendo os principais tipos existentes na bacia. Os dados passaram por uma proposta de validação e posteriormente por análise estatística descritiva e de correlação. Realizou-se também a análise da dependência espacial e mapeamento por krigagem. As metodologias que melhor representaram a erodibilidade do solo na BHRP foram dadas pelas propostas de Sharpley e Williams (Latossolos Vermelho-Escuros e Planossolos), Wischmeier e Smith (Latossolos Roxos) e, Renard (Podzólicos Vermelho-Escuros e Vermelho-Amarelos). O mapa final, indicou erodibilidade média (46,4% da BHRP), baixa (45,1%), muito baixa 0,5% e, muito alta 7,9% da área da bacia. Concluiu-se que o uso de uma única metodologia pode subestimar ou superestimar a erodibilidade do solo.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do Rio Pântano, Erosão do solo, Krigagem, Manejo e conservação do solo, Mato Grosso do Sul.

Abstract / Resumen

INDIRECT METHODOLOGIES FOR MEASURING SOIL ERODIBILITY AND CHARACTERIZING ITS SPATIAL VARIABILITY

The present study analyzed different indirect methodologies for measuring soil erodibility and characterized the spatial variability of soil erodibility in the Pântano River Hydrographic Basin (PRHB), state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Nine methodologies/adaptations were tested in 103 soil samples collected covering the main soil types in the hydrographic basin. The data were submitted to a validation proposal and underwent descriptive and correlation statistical analyses. A spatial dependence analysis and mapping by kriging was also carried out. The methodologies that best represented the erodibility estimates at PRHB were those by Sharpley and Williams (Latossolos Vermelho-Escuros [Oxisols] and Planossolos [Alfisols]), Wischmeier and Smith (Latossolos Roxos [Oxisols]), and Renard (Podzólicos Vermelho-Escuros and Podzólicos Vermelho-Amarelos [Ultisols]). The final map indicated erodibility medium (46.4% of PRHB), low (45.1%), very low (0.5%) and very high (7.9%). The findings indicated that the use of a single indirect methodology may underestimate or overestimate the soil erodibility.

Keywords: Pântano River Hydrographic Basin, Soil erosion, Kriging, Soil management and conservation, Mato Grosso do Sul.

METODOLOGÍAS INDIRECTAS DE MEDICIÓN DE LA ERODIBILIDAD DEL SUELO Y LA CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL

El presente estudio tuvo como objetivo analizar diferentes metodologías indirectas para medir la erosionabilidad del suelo, así como caracterizar su variabilidad espacial mediante el uso de técnicas geoestadísticas. Para ello, se adoptó como estudio de caso la Cuenca del Río Pântano (CRP) en el estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Las metodologías que mejor representaron las estimaciones de la erosionabilidad em la CRP fueron las propuestas de Sharpley y Williams (Latossolo Rojo Distrófico Álico y Planossolo Álico), Wischmeier y Smith (Latossolo Rojo Distrófico) y Renard (Argissolo Rojo Distrófico y Argissolo Rojo-Amarillo). El mapa final, que se compuso de un mosaico de las metodologías que mejor representaban cada tipo de suelo, indicó las siguientes clases de erosionabilidad: medio (46,4% de la CRP, predominantemente en Argissolos Rojos); bajo (45,1%, predominantemente en Latossolos); muy bajo 0,5% y muy alto 7,9% de la cuenca (predominantemente en Argissolos Rojo-Amarillos).

Palabras-clave: Cuenca del Río Pântano, Erosión del suelo, Krigagem, Manejo y conservación del suelo, Mato Grosso do Sul.

This is an open access article under the CC BY Creative Commons license
Copyright © 2021, Universidade Federal do Ceará.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das características do solo é de vital importância para o planejamento conservacionista, principalmente em função dos processos erosivos que se apresentam como um grave problema ambiental em todo planeta. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), parte considerável dos problemas com processos erosivos são intimamente relacionados ao uso e manejo inadequado dos solos frente às suas características. Assim, o combate aos processos erosivos representa um grande desafio, exigindo o conhecimento detalhado dos solos e a elaboração de propostas de manejo adequadas que visem a sustentabilidade ambiental.

A erodibilidade do solo é um importante fator para o planejamento conservacionista, pois representa a suscetibilidade natural do solo à ação dos agentes erosivos (ARRAES et al., 2010). Inúmeros trabalhos têm sido realizados no Brasil com o intuito de estudar este fator, como por exemplo, os de: Vieira (2008) em Santa Catarina; Vale Júnior et al. (2009) em Roraima; Chaves et al. (2010) no Distrito Federal; Castro et al. (2011) no Cerrado Goiano; Carvalho e Leite (2015) em Mato Grosso do Sul e Lima et al. (2019) no estado de São Paulo.

Em nível global podem ser citados trabalhos como os de: Zhang et al. (2008) na China; Albaladejo et al. (2009) na Epanha; Parwada e Van Tol (2016) na África do Sul; Takal et al. (2017) no Afeganistão; Al Rammahi e Khassaf (2018) no Iraque, entre outros.

Segundo Arraes et al. (2010) a determinação da erodibilidade do solo pode ser de três modos: a) em condições de campo, sob chuva natural; b) utilizando-se a razão das perdas de solo e da erosividade sob chuva simulada e, c) baseado em equações que consideram atributos do solo como variáveis de influência. Esta última forma, apesar de menos precisa que as anteriores, representa um meio rápido e de baixo custo operacional. Assim, muitos pesquisadores têm adotado esses métodos indiretos (LIMA et al., 2007; ARRAES et al., 2010; ANACHE et al., 2015; SILVA et al., 2016; Al RAMMAHI; KHASSAF, 2018; LIMA et al., 2019).

Dentre os inúmeros métodos, alguns merecem destaque como o de Wischmeier e Smith (1978) que foi baseado em dados de solos do meio-oeste americano. O trabalho de Lima et al. (1990), por sua vez, apresenta uma adaptação deste método anterior visando a aplicação nos Latossolos brasileiros. Denardin (1990) propôs uma equação robusta da estimativa da erodibilidade baseada em 31 perfis de solos brasileiros. Essa equação é bastante empregada no Brasil, porém, alguns trabalhos com o de Demarchi e Zimback (2014) têm adotado uma proposta mais simples e prática descrita por Bouyoucos (1935).

A revisão ainda indica outras metodologias difundidas no meio acadêmico como o modelo WEPP-Water Erosion Prediction Project (SHARPLEY; WILLIAMS, 1990); o modelo proposto por Chaves (1996) e, o apresentado por Renard et al. (1997).

Diante desta variedade de metodologias globalmente conhecidas (cada qual desenvolvida em condições edafoclimáticas diferentes), a aplicação de um único método pode produzir resultados inadequados para representar uma área de interesse. Assim, é essencial avaliar o maior número possível de metodologias para se obter um melhor resultado.

Por outro lado, também é de grande interesse conhecer a variabilidade espacial da erodibilidade do solo. Nesse sentido, a geoestatística tem sido largamente empregada para esse fim (GREGO; VIEIRA, 2005; MIQUELONI et al., 2015; LIMA et al., 2019), permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, estimando seu comportamento para locais não amostrados dentro de uma mesma área amostral (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Diante do exposto, objetivou-se analisar diferentes metodologias indiretas para a mensuração da erodibilidade do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pântano (BHRP, MS), bem como caracterizar a sua variabilidade espacial por meio do uso de técnicas geoestatísticas.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido com base em levantamento de campo (amostragens de solo) coletado na Bacia Hidrográfica do Rio Pântano (BHRP), leste do estado de Mato Grosso do Sul. A BHRP possui uma área de 1.348,6 km² distribuída nos municípios de Selvíria, Aparecida do Taboado e

Inocência, destacando-se como um importante afluente do Rio Paraná (Figura 1).

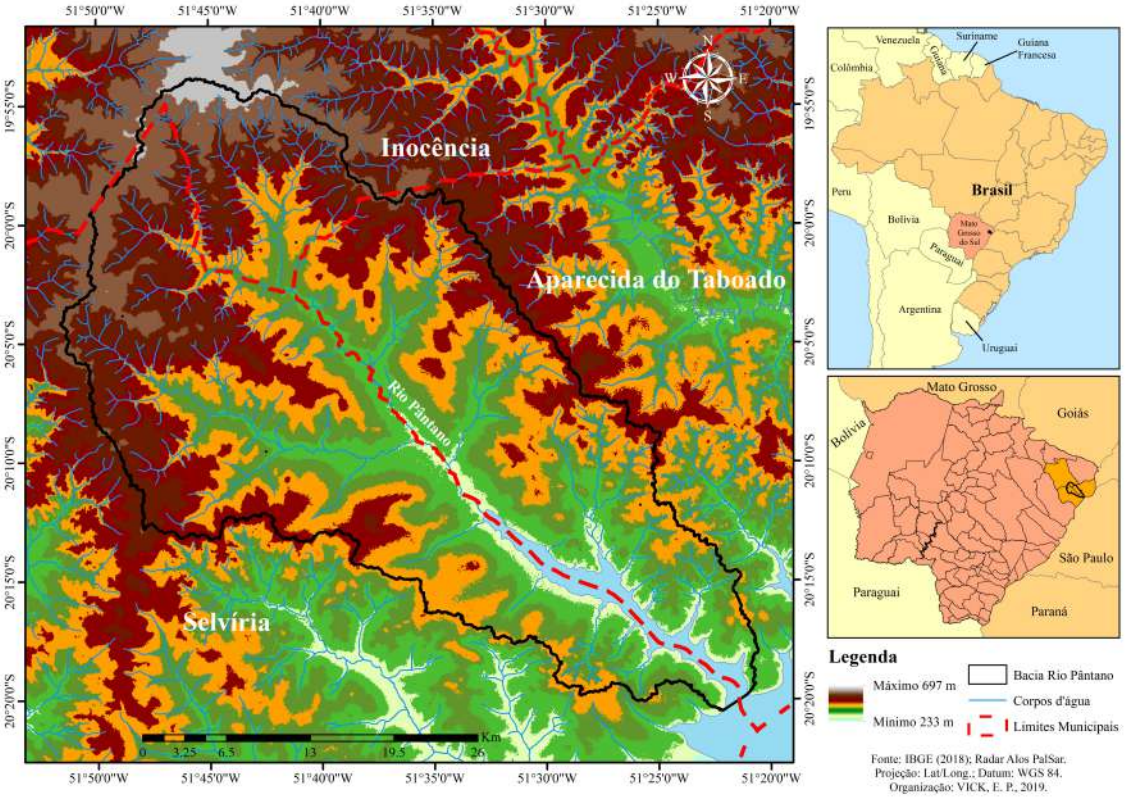

Figura 1 - Localização da área de estudo, BHRP.

Ao todo foram analisadas 103 amostras (com estrutura deformada) oriundas de coletas individuais (na profundidade de 0 - 0,20 m) distribuídas em 54 locais na BHRP, conforme apresentado na Figura 2. Em cada local destacado no mapa, com o auxílio de um trado de caneco, foram coletadas duas amostras separadas por uma distância mínima de 100 m. Eventualmente, foi coletada apenas uma amostra.

A espacialização dos pontos amostrais foi realizada tendo como base os diferentes tipos de solos presentes no Mapa de Solos do Macrozoneamento Geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul (MATO GROSSO DO SUL, 1989) disponível na escala de 1:250.000 (SISLA, 2020). Este mapa foi escolhido pelo fato de apresentar um apreciável detalhamento da distribuição espacial dos solos na área de estudo e por ser um material ainda muito utilizado em diversas pesquisas ambientais de caráter regional. Porém, ressalta-se que algumas nomenclaturas deste material não se apresentam de forma idêntica quando comparadas ao mais recente Sistema Brasileiro de Classificação do Solo, o SiBCS (EMBRAPA, 2018).

Destaca-se, portanto, que apesar de fazer uso da configuração original do Mapa de Solos do Estado de Mato Grosso do Sul (arranjo espacial e nomenclatura), os nomes atualizados para os solos estudados (conforme EMBRAPA, 2018; IBGE, 2018) são apresentados concomitantemente na legenda da Figura 2. Deste modo, os resultados observados no presente estudo podem ser facilmente adaptados à classificação atual do SiBCS.

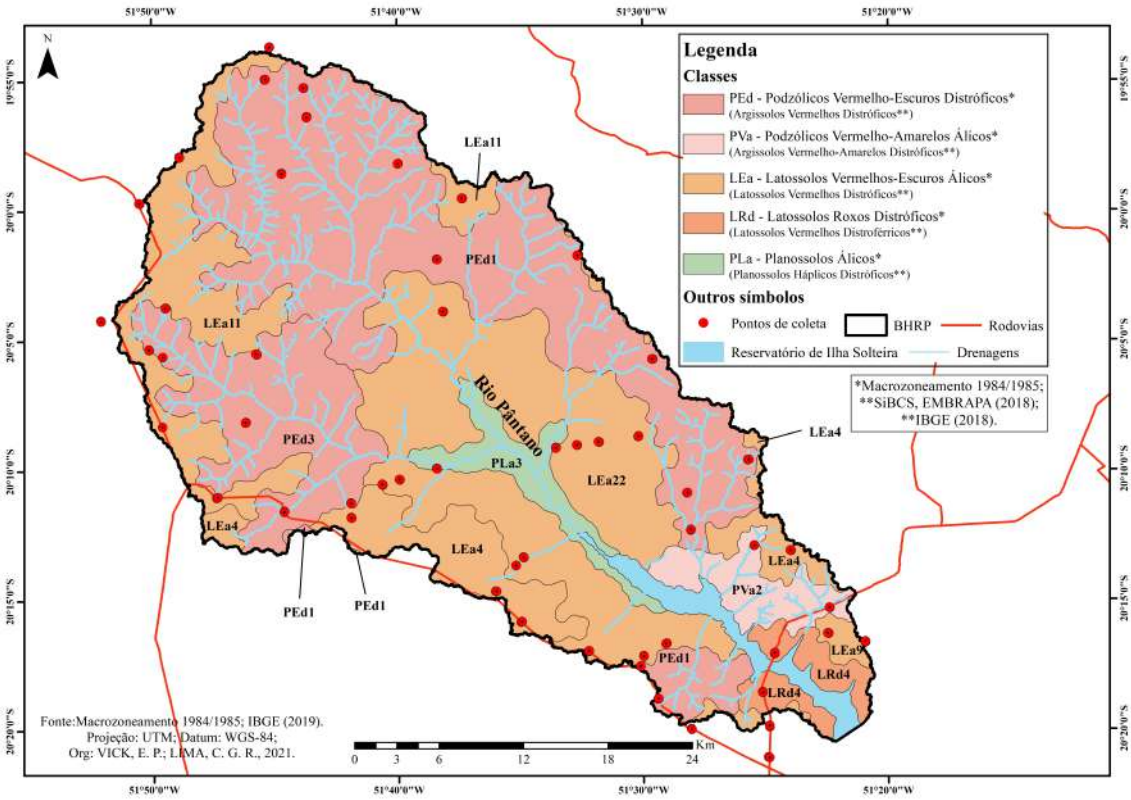

Figura 2 - Mapa de solos e locais de coleta amostral, BHRP.

Assim, a coleta compreendeu as seguintes classes de solos: Podzólicos [atuais Argissolos], Latossolos e Planossolos. Sendo diferenciados 5 tipos principais a saber: Podzólico Vermelho-Escuro Distrófico (PEd1 e PEd3), Podzólico Vermelho-Amarelo Álico (PVa2), Latossolo Roxo Distrófico (LRd4), Latossolo Vermelho-Escuro Álico (LEa11, LEa22, LEa4 e LEa9) e, Planossolo Álico (PLa3), conforme a espacialização apresentada na Figura 2.

Visando manter uma adequada proporção, a distribuição amostral considerou a representatividade dos diferentes subtipos de solos observados (Tabela 1).

Tipo de Solo	Subtipo[1] (+associações)	Área (km^2)	Área (%)	n. Amostras
LEa - Latossolos Vermelho-Escuros Álico[1] *Latossolos Vermelhos Distrófico[2]*	LEa11	152,25	11,29	14
	LEa22	334,85	24,83	23
	LEa4	86,98	6,45	8
	LEa9	8,76	0,65	4
LRd - Latossolos Roxos Distrófico[1] *Latossolos Vermelhos Distroférricos[2]*	LRd4	37,22	2,76	6
PEd - Podzólicos Vermelho-Escuros Distrófico[1] *Argissolos Vermelhos Distróficos[2]*	PEd1	470,79	34,91	28
	PEd3	158,86	11,78	12
PVa - Podzólicos Vermelho-Amarelos Álico[1] *Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos[2]*	PVa2	49,81	3,69	4
PLa - Planossolos Álico[1] *Planossolos Háplicos Distróficos[2]*	PLa3	49,08	3,64	4
Total		1348,6	100	103

Fonte: [1]Tipo e subtipo de solo conforme Mapa de Solos do Estado (MATO GROSSO DO SUL, 1989; SISLA, 2020); [2] Nomenclatura do solo atualizado conforme Mapa de Recursos Naturais e SiBCS (IBGE, 2018; EMBRAPA, 2018;).

Tabela 1 - Representatividade das coletas amostrais, BHRP.

Após a coleta do solo, as amostras foram identificadas, preparadas e analisadas conforme Embrapa (2011). Assim, como atributo físico do solo foi analisado a granulometria (teores de areia total, areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila), sendo determinada pelo método da pipeta (NaOH 1 mol L^{-1}). Também realizou-se a análise granulométrica sem a utilização de dispersante. Quanto à química do solo, analisou-se o teor de matéria orgânica (MO) obtido indiretamente a partir do carbono orgânico (CO).

O fator erodibilidade do solo (k) foi determinado indiretamente conforme as seguintes metodologias descritas abaixo:

a)Bouyoucos (1935):

$$k = \left[\frac{\%Areia + \%Silte}{\%Argila}\right]/100 \qquad (1)$$

onde: k = erodibilidade do solo (Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}).

Denardin (1990):

$$k = [0,00000748 * M] + [0,00448059 * P] + [0,0631175 * DMP] + [0,01039567 * R] \qquad (2)$$

onde

$$M\ (\%) = [(\text{“Novo” Silte} + \text{“Nova” Areia}) * \text{“Novo” Silte}] \qquad (3)$$

sendo: “novo” silte = (silte + areia muito fina); “nova” areia = (areia muito grossa + areia grossa + areia média + areia fina).

onde: P é a permeabilidade do solo, conforme codificação contida em Wischmeier et al., (1971). A atribuição da classe de permeabilidade foi realizada observando a textura do solo, conforme descrito em Demarchi e Zimback (2014), (Tabela 2).

Classe Textural[1]	Permeabilidade	Classe de Permeabilidade[2]
argilosa (muito argilosa, argila) e argilo siltosa	Muito lenta	6
franco argilo siltosa e argilo arenosa	Lenta	5
franco argilo arenosa e franco argilosa	Lenta a Moderada	4
franca, franco siltosa e siltosa	Moderada	3
areia franca e franco arenosa	Moderada rápida	2
arenosa	Rápida	1

Fonte: [1] Triângulo Textural, United States Depatment of Agriculture (USDA, 1983); [2]Wischmeier et al. (1971). Adaptado de Demarchi e Zimbach (2014).

Tabela 2 Classes de permeabilidade em função da textura do solo.

onde:

$$DMP\ (mm) = \Sigma(Ci * Pi) \qquad (4)$$

sendo: Ci = centro da classe textural i, expresso em mm; Pi = proporção de ocorrência da classe textural i, expressa em %. No presente estudo, este cálculo ficou assim definido (com base na classificação das peneiras da ABNT):

$$DMP\ (mm) = [(1,5 * \text{Areia MG}) + (0,75 * \text{Areia G}) + (0,355 * \text{Areia M}) + (0,1575 * \text{Areia F}) + (0,825 * \text{Areia MF}) + (0,031 * \text{Silte}) + (0,00376 * \text{Argila})]/100 \qquad (5)$$

e, onde:

$$R = (MO * \text{"Nova" Areia})/100 \qquad (6)$$

sendo: MO = matéria orgânica (%).

c) Wischmeier e Smith (1978):

$$K = \left\{\frac{[2{,}1(10^{-4})(12 - MO)M^{1{,}14} + 3{,}25\,(EST-2) + 2{,}5\,(PER-3)]}{100}\right\} 0{,}1317 \qquad (7)$$

onde:

$$M = (\%\ \text{Silte} + \%\ \text{Areia Muito Fina})\ x\ (100 - \%\ \text{Argila}) \qquad (8)$$

sendo: MO = teor de matéria orgânica no solo (%); PER = permeabilidade, dada indiretamente em função da textura (conforme Tabela 2 apresentada anteriormente); EST = estrutura do solo.

Para o fator EST, em virtude da dificuldade técnica, realizou-se uma adaptação em função da classe textural do solo.

Segundo Donagemma et al. (2016), solos leves com textura arenosa (areia, areia franca ou franco arenosa), são caracterizados, predominantemente, pela estrutura fraca, pequena granular, a qual confere grande friabilidade. Assim, considerando que em solos muito arenosos, a baixa quantidade de argila proporciona pouca estruturação física (RIBEIRO, 1999), há uma consequente redução da agregação das partículas do solo. Portanto, há um maior favorecimento para solos com estruturas finas e granulares. Já, em solos com maiores teores de argila, a coesão entre os grãos é maior, corroborando com a formação de solos melhor estruturados (CAMPOS et al., 1995). Assim, considerando que na BHRP há predominância de solos arenosos e apenas uma pequena parcela com teores mais elevados de argila, a atribuição das classes do fator EST para o presente estudo foi realizado conforme apresentado na Tabela 3.

Descrição da Estrutura[1]	Classe de Estrutura[1]	Adaptação classificada[2]
muito fina granular	1	Areia (n = 13)
fina granular	2	Areia franca, Franca arenosa (n = 80)
média a grossa granular	3	Franco argilo arenosa (n = 6)
blocos, laminar ou maciça	4	Argila (n = 4)

Fonte: [1]Wischmeier et al. (1971); [2]Organizado e adaptado pelo Autor, n = numero de amostras classificadas.

Tabela 3 - Atribuição do fator estrutura do solo para diferentes classes texturais.

d) Conforme Wischmeier e Smith (1978) adaptado por Lima et al. (1990).

Neste caso, a única diferença em relação ao método descrito anteriormente é que os dados da análise granulométrica foram obtidos sem utilização de agente dispersante.

e) Conforme as seguintes expressões de Renard et al. (1997):

$$K = 0.0034 + 0.0405\ x\ \exp\left[-0.5\left(\frac{\log DG + 1.659}{0.7101}\right)^2\right. \qquad (9)$$

$$K = 0.0034 + 0.0405\ x\ \exp\left[-0.5\left(\frac{\log DG + 1.657}{0.6986}\right)^2\right. \qquad (10)$$

onde

$$DG = \exp\,(0.01\ \Sigma\, fi\ \ln mi) \qquad (12)$$

sendo: DG o diâmetro médio geométrico das partículas solo (mm); fi é a fração correspondente ao tamanho da partícula (%); mi é a média aritmética dos limites de tamanho de partícula (mm);

f) Conforme método proposto por Chaves (1996), contido em Chaves (2010):

$$k = \frac{-0{,}00043\ (AF+SIL)}{CO+0{,}000437\ AR+0{,}000863\ SIL} \qquad (11)$$

onde: AF = % de areia fina no horizonte A do solo; SIL = % de silte do horizonte A do solo; CO = % de carbono orgânico do horizonte A do solo; AR = % de areia total do solo.

g) Conforme expressão proposta por Sharpley e Williams (1990), disposta nos trabalhos de Anache et al. (2015) e Al Rammahi e Khassaf (2018), autores estes que apresentaram esta metodologia com variações pontuais produzindo resultados diferentes. A princípio, a equação é a mesma:

$$k = A\ x\ B\ x\ C\ x\ D\ x\ 0,1317 \qquad (12)$$

onde

$$A = [0,2 + 0,3\exp(-0,0256\ ARE\ \left(1 - \frac{SIL}{100}\right))] \qquad (13)$$

$$B = [\frac{SIL}{ARG+SIL}]^{0,3} \qquad (14)$$

$$C = [1,0 - \frac{0,25\ C}{C+\exp[(3,72-2,95\ C)]}] \qquad (15)$$

$$D = [1,0 - \frac{0,70\ SN1}{SN1+\exp(-5,51+22,9\ SN1)}] \qquad (16)$$

sendo: ARE = Areia (%); SIL = Silte (%); ARG = Argila (%); C = teor (%) de carbono orgânico do solo; SN1 = (1 menos o teor (%) de areia dividido por 100).

A diferença entre as referências é que a fórmula aplicada por Al Rammahi e Khassaf (2018) utilizam-se das porcentagens nominais (exemplo: 10% = 10) ao passo que Anache et al. (2015) aplicam as porcentagens em valores fracionados (exemplo: 10% = 0,1).

Assim, a erodibilidade foi determinada de 9 formas diferentes, ficando cada uma delas, respectivamente, assim definidas: K(Bouyoucos), K(Denadin); K(Wischmeier); K(Lima); K(Renard_a); K(Renard_b); K(Chaves); K(Sharpley_a) conforme apresentado por Anache et al. (2015) e, K(Sharpley_b) conforme apresentado por Al Rammahi e Khassaf (2018).

Os dados gerados passaram por análise estatística descritiva, utilizando-se da planilha de cálculos Excel. Esta etapa teve como objetivo auxiliar na validação dos diferentes métodos. Por outro lado, foi montada a matriz de correlação de Pearson com a finalidade de avaliar a interação entre os atributos estudados.

Posteriormente, foi analisada a dependência espacial por meio do Gamma Design Software GS+ 7.0 (ROBERTSON, 2004). Assim, para cada fator erodibilidade, foi calculado o semivariograma experimental, tendo como base a pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca, conforme a seguinte expressão (YAMAMOTO; LANDIM, 2013):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \qquad (17)$$

onde: N(h) é o número de pares experimentais de observações Z(xi) e Z (xi + h) separados por

uma distância h.

Para os ajustes semivariográficos observou-se: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD); b) o maior coeficiente de determinação espacial (R^2) e, c) o maior avaliador da dependência espacial (ADE). O modelo de ajuste final, e o número de vizinhos interpoladores para a krigagem foi definido tendo como parâmetro o maior coeficiente de correlação (r) entre valor observado vs estimado da validação cruzada (VC).

Após essa etapa, foi realizada a interpolação por krigagem, sendo a integração dos dados e edição dos mapas finais realizadas no software ArcGis 10.6® (ESRI 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 é apresentada a caracterização da granulometria e da matéria orgânica do solo na BHRP, que indicou a presença predominante de solos arenosos, porém, com apreciáveis teores de matéria orgânica. Observou-se ainda as seguintes classes texturais: LEa11 (areia, areia franca e franco arenosa); LEa22 (areia franca, franco arenosa e franco argilo arenosa); LEa4 (areia, areia franca e franco arenosa), LEa9 (franco arenosa e franco argilo arenosa), LRd4 (argila, areia franca e franco arenosa), PEd1 (areia, areia franca, franco arenosa, franco argilo arenosa) PEd3, (areia, areia franca, franco arenosa), PLa3 (areia e areia franca) e, PVa (areia franca e franco arenosa).

Principais Tipos de Solos[1]	Subtipos[1] (+associações)	*Medidas Descritivas*						
		n. amostral	*Atributo*	*Valor*			*Desvio Padrão*	*Coef. Var. (%)*
				Médio	*Mínimo*	*Máximo*		
LEa - Latossolo Vermelho-Escuro Álico	LEa11 (Área = 11,29%)	*14*	*Areia*	86,2	82,3	90,3	2,4	2,8
			Silte	4,2	0,2	6,4	1,6	39,0
			Argila	9,5	7,6	11,5	1,3	13,6
			M.O.	1,3	0,8	1,7	0,2	17,6
	LEa22 (Área = 24,83%)	*23*	*Areia*	81,6	62,8	87,8	6,5	8,0
			Silte	5,5	1,4	15,2	3,4	61,4
			Argila	12,8	8,3	26,3	4,3	34,0
			M.O.	1,6	1,1	2,4	0,3	20,6
	LEa4 (Área = 6,45%)	*8*	*Areia*	85,2	78,4	92,0	4,1	4,8
			Silte	3,7	0,5	6,7	1,9	53,5
			Argila	10,9	5,7	14,7	2,8	26,3
			M.O.	1,4	1,1	1,9	0,2	17,1
	LEa9 (Área = 0,65%)	*4*	*Areia*	67,3	63,8	75,0	5,1	7,6
			Silte	7,0	4,1	9,4	2,2	31,8
			Argila	25,6	17,0	31,0	6,2	24,5
			M.O.	2,0	1,7	2,5	0,3	17,5
LRd - Latossolo Roxo Distrófico	LRd4 (Área = 2,76%)	*6*	*Areia*	48,2	23,1	86,6	29,1	60,3
			Silte	11,6	1,9	20,4	7,7	66,6
			Argila	40,0	10,8	56,8	21,6	53,9
			M.O.	2,1	1,1	3,6	0,9	45,2
PEd - Podzólico Vermelho-Escuro Distrófico	PEd1 (Área = 34,91%)	*28*	*Areia*	83,1	70,0	92,2	5,4	6,5
			Silte	5,4	1,4	9,9	2,3	42,2
			Argila	11,4	4,3	22,0	3,9	34,8
			M.O.	1,4	0,8	2,3	0,3	25,7
	PEd3 (Área = 11,78%)	*12*	*Areia*	85,8	77,6	93,0	5,0	5,8
			Silte	4,7	1,5	11,4	2,8	59,9
			Argila	9,3	5,3	13,7	2,5	27,5
			M.O.	1,3	0,8	1,8	0,2	22,3
PVa – Podzólico Vermelho-Amarelo Álico	PVa2 (Área = 3,69%)	*4*	*Areia*	82,9	77,2	86,6	4,5	5,4
			Silte	5,6	2,5	8,5	2,8	51,1
			Argila	11,4	9,6	15,2	2,5	22,2
			M.O.	1,5	1,0	2,0	0,4	64,5
PLa - Planossolo Álico	PLa3 (Área = 3,64%)	*4*	*Areia*	90,4	88,4	92,6	1,8	2,0
			Silte	1,7	0,9	2,2	0,5	33,2
			Argila	7,8	6,3	9,2	1,3	17,0
			M.O.	1,1	1,1	1,2	0,1	5,5

Fonte: [1] Tipos e subtipos de solos, Mapa de Solos do Estado (MATO GROSSO DO SUL, 1989; SISLA, 2020)

Tabela 4 - Caracterização granulométrica e da matéria orgânica do solo na BHRP.

Na Tabela 5 é apresentado o resultado da revisão sobre a erodibilidade dos solos brasileiros (trabalho de campo com chuva natural e/ou simulada). Apesar da existência de poucas referências, a organização desses dados permite observar informações de auxílio para validação das metodologias aplicadas.

Cabe salientar que a erodibilidade do solo pode ser classificada em função do seu potencial. Assim, de acordo com Castro et al. (2011), quando: $K < 0{,}0090$ (muito baixa), $0{,}0090 < K \leq 0{,}0150$

(baixa), 0,0150 < K ≤ 0,0300 (média), 0,0300 < K ≤ 0,0450 (alta), = 0,0450 < K ≤ 0,0600 (muito alta), e K > 0,0600 (extremamente alta).

Principais Tipos de Solos*	Referências do Fator K[n] (valores observados)		Subtipos** (+Associações)	Referências do Fator K[n] (valores observados)
LEa - Latossolo Vermelho-Escuro Álico	**Latossolo Vermelho-Escuro Álico**[5] *K = 0,002; K = 0,008; K = 0,013* **Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico**[5] K = 0,004; K = 0,009; K = 0,009; K = 0,021; K = 0,022; K = 0,026 ---------- **Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa**[1] K= 0,017 **Latossolo Vermelho-Escuro, orto**[1] K = 0,015 ---------- **Latossolo Vermelho-Escuro**[2] K = 0,015 ---------- **Latossolo Vermelho-Escuro**[4] K= 0,016	*Média do fator K = 0,014* *Baixa Erodibilidade* *Extremos: muito baixa a média*	**LEa11** - Latossolo Vermelho-Escuro Álico, textura média + **Areias Quartzosas** Álicas.	**Areias Quartzosas**[2] K = 0,046; **Areias Quartzosas**[4] K = 0,045 ---------- *Extremos: muito baixa a muito alta*
			LEa22 - Latossolo Vermelho-Escuro Álico, textura média + **Podzólicos Vermelho-Escuro Álico e Distrófico**, textura arenosa/média + **Podzólico Vermelho-Amarelo Álico**, textura arenosa média.	**Podzólicos Vermelho-Escuro Álico e Distrófico**[3] K = 0,024; K = 0,032; K = 0,034 **Podzólico Vermelho-Amarelo Álico**[3] K = 0,031 ---------- *Extremos: muito baixa a alta*
			LEa4 - Latossolo Vermelho Escuro Álico, textura média, e Distrófico, textura média.	*Extremos: muito baixa a média*
			LEa9 - Latossolo Vermelho Escuro Álico, textura média + LEa textura argilosa.	*Extremos: muito baixa a média*
LRd - Latossolo Roxo Distrófico	**Latossolo Roxo Distrófico**[5] *K = 0,009; K = 0,012; K = 0,016* **Latossolo Roxo Eutrófico**[5] *K = 0,004; K = 0,025* ---------- **Latossolo Roxo**[2] K = 0,019 ---------- **Latossolo Roxo**[4] K = 0,012	*Média do fator K = 0,016* *Média Erodibilidade* *Extrem.: muito baixa a média*	**LRd4** - Latossolo Roxo Distrófico, Eutrófico, textura muito argilosa e argilosa + **Terra Roxa Estruturada** Eutrófica, textura muito argilosa + **Terra Roxa Estruturada** Eutrófica, textura muito argilosa.	**Terra Roxa Estruturada**[1] K = 0,018 **Terra Roxa Estruturada/Latossólica**[4] K = 0,018 ---------- *Extremos: muito baixa a média*
PEd - Podzólico Vermelho-Escuro Distrófico	**Podzólico Vermelho-Escuro Distrófico**[3] *K = 0,024; K = 0,034* **Podzólicos Vermelho-Escuro Álico e Distrófico**[3] K = 0,024; K = 0,032; K = 0,034	*Média do fator K = 0,029* *Média Erodibilidade* *Extrem.: média a alta*	**PEd1** - Podzólico Vermelho-Escuro Distrófico, e Eutrófico, textura média.	*Extremos: média a alta*
			PEd3 - Podzólico Vermelho-Escuro Distrófico, textura arenosa/média + **Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico,** textura média + **Latossolo Vermelho Escuro Álico,** textura média.	**Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico**[3] K = 0,027 **Latossolo Vermelho-Escuro Álico**[5] K = 0,008; K = 0,002; K = 0,013 ---------- *Extremos: muito baixa a alta*
PVa - Podzólico Vermelho-Amarelo Álico	**Podzólico Vermelho-Amarelo Álico**[3] *K = 0,031* **Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico**[3] K = 0,027 ---------- **Podzólico Vermelho-Amarelo, var. Iaras**[1] K = 0,043 **Podzólico Vermelho-Amarelo, orto**[1] K = 0,034 **Podzólico Vermelho-Amarelo, v.piracicada**[1] K = 0,028 ---------- **Podzólico Vermelho-Amarelo**[2] K = 0,029 ---------- **Podzólico Vermelho-Amarelo**[4] K = 0,032	*Média do fator K = 0,032* *Alta Erodibilidade* *Extrem.: média a alta*	**PVa2** - Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, e Distrófico, textura arenosa/média e média + **Solos Litólicos** Distróficos, textura média, muito cascalhenta.	Areias Quartzosas[2] K = 0,046; Areias Quartzosas Hidromórficas[2] K = 0,048 Solos Litólicos[4] K = 0,050 Areias Quartzosas Hidromórficas[4] K = 0,047 Areias Quartzosas[4] K = 0,045 Regossolos[4] K = 0,043 ---------- *Extremos: média a muito alta*
PLa - Planossolo Álico	**Planossolo (Solonetz-solodizado)**[3] K = 0,012 ---------- **Planossolo Solódico**[4] K = 0,002 **Planossolo**[4] K = 0,002 **Solonetz Solodizado**[4] K = 0,005	*Média do fator K = 0,005* *Muito Baixa Erodibilidade* *Extremos: muito baixa a baixa*	**PLa3** - Planossolo Álico, textura arenosa/média e arenosa/argilosa + **Glei pouco Húmico** Álico, textura indiscriminada + **Areias Quartzosas Hidromórficas** Distróficas e Álicas.	**Glei pouco húmico**[4] K = 0,001 ---------- **Areias Quartzosas Hidromórficas**[2] K = 0,048 **Areias Quartzosas Hidromórficas**[4] K = 0,047 ---------- *Extremos: muito baixa a muito alta*

Fonte: *,**Tipos/subtipos de solos; Mapa de Solos do Estado (MATO GROSSO DO SUL, 1989; SISLA, 2020);
[n] = Fontes, onde: [1]Bertoni e Lombardi Neto (2008); [2]Galdino et al. (2003); [3]Marques et al. (1997); [4]BRASIL (1997); [5]Silva et al. (2000).

Tabela 5 - Erodibilidade do solo com chuva natural/simulada para alguns solos brasileiros.

Na Tabela 5, os dados permitem duas análises. No Primeiro caso (primeira coluna), os dados estão agrupados de modo amplo, sendo apresentadas as referências para os tipos principais dos solos (LEa, LRd, PEd, PLa e, PVa), não considerando as associações. Assim, para o LEa, observou o valor médio de 0,014 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} correspondendo a uma baixa erodibilidade. Já o LRd apresentou média erodibilidade (0,016 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}), do mesmo modo o PEd (0,029 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1}

mm^{-1}), porém nesse último caso, o valor médio foi muito maior, por se tratar de um Podzólico [Argissolo]. Já o PLa indicou baixa erodibilidade (0,005 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}) e o PVa alta erodibilidade (0,032 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}), sendo este o mais crítico dentre os solos estudados.

Silva e Alvares (2005) organizaram um banco de dados referentes à erodibilidade do solo e apontaram valores médios próximos para os Latossolos (0,016 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}) e Planossolos (0,009 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}) e ainda destacaram os Podzólicos como sendo um dos que apresentaram as maiores erodibilidades médias (0,042 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}).

Ao que se refere aos solos estudados, segundo Sousa e Lobato (2020), os Latossolos quando apresentam textura média e/ou elevados teores de areia, podem possuir comportamento semelhante às Areias Quartzosas [atuais Neossolos Quartzarênicos], sendo mais suscetíveis à erosão. Porém, os Latossolos mais argilosos apresentam menor erodibilidade. Segundo Santos et al. (2020), os Latossolos geralmente são profundos, bem drenados e friáveis. Tais condições lhe atribuem uma boa resistência à erosão laminar, quando em condições naturais ou bem manejados.

Os Planossolos geralmente apresentam um horizonte B textural com incremento de argila e podem apresentar baixas permeabilidades (SANTOS et al., 2020). Porém, segundo Almeida et al. (2020), destaca-se que em condições de adensamento podem ser muito susceptíveis à erosão, principalmente quando com elevados teores de areia.

Os Podzólicos por sua vez (PEd e PVa), possuem uma tendência natural a serem mais suscetíveis a erosão (ZARONI; SANTOS, 2020) devido principalmente a sua relação textural (EMBRAPA, 2018). Porém, quando de texturas médias e com relação textural menores, as boas condições de infiltração podem reduzir os problemas quanto à erodibilidade. No caso específico dos PVa, Santos et al. (2020) apontam que estes solos são muito suscetíveis a erosão. Assim, tais informações apresentam-se, de modo geral, alinhadas com os dados da Tabela 5.

Por outro lado, na Tabela 5, os dados também possibilitaram verificações mais específicas quando incluídos dados para as ocorrências de associações. Esses dados podem ser observados na segunda coluna da tabela (+Associações). Nela, nota-se que para alguns casos do LEa como o LEa11, LEa22, a amplitude aumentou uma vez que há ocorrências de Areias Quartzosas e de Podzólicos. Do mesmo modo, a amplitude aumentou para o PEd3 (devido a presença de Latossolos), para o PLa (devido ao Gleissolo e Areia Quartzosa) e para o PVa (devido a presença de solos muito arenosos).

Os dados da segunda coluna (Tabela 5), porém, não corroboram muito com a validação das metodologias, uma vez que amplia a escala de valores. Ressalta-se ainda, que as associações ocorrem em escala reduzida na área de estudo e não há certeza de que os dados de campo no presente estudo correspondem exatamente a uma dessas associações relatadas. Assim, o processo de validação foi realizado considerando apenas a erodibilidade dos tipos principais de solos (LEa, LRd, PEd, PLa, e PVa).

Portanto, na Tabela 6, são apresentados os valores de erodibilidade para diferentes metodologias e tipos de solos. Nessa tabela estão destacados os casos considerados mais adequados quando comparados com os dados da tabela anterior (1ª coluna da Tabela 5). Para tanto, considerou-se atender a seguinte regra:

a)Enquadramento dos valores médios;

b)Enquadramento dos valores extremos (entre mínimo e máximo).

Um destaque inicial na Tabela 6, é que apesar das diferenças metodológicas, a proposta de Bouyoucos foi a única a se distanciar demasiadamente das demais, com valores muito elevados (chegando a 0,2221 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}), tornando-se, de modo geral, a menos adequada neste estudo. Tal comportamento deve-se em função dos elevados teores de areia para a maioria dos solos da BHRP, que em alguns casos chegou a mais de 90% (Tabela 4). Como essa metodologia é estritamente baseada nas relações granulométricas, acaba sendo inadequada quando há a presença de elevados teores de areia ou de argila. Mannigel et al. (2002) também observaram esse tipo de comportamento para esta metodologia apontando valores da ordem de 0,4278 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} (classe extremamente alta) para solos arenosos.

Principais Tipos de Solos[1]	Medidas Descritivas						
	Método	Valor				DP.	Var. do Fator K (valores extremos)
		Média	Class. Média Fator K	Mínimo	Máximo		
LEa - Latossolo Vermelho-Escuro Álico	$K_{(Bouyoucos)}$	0,0797	extrem.alta	**0,0222**	**0,1653**	0,027	média <k> extrem. alta
	$K_{(Denardin)}$	0,0385	alta	**0,0311**	**0,0474**	0,003	alta <k> muito alta
	$K_{(Wischmeier)}$	0,0104	baixa	**>0,0001**	**0,0244**	0,005	muito baixa <k> média
	$K_{(Lima)}$	0,0149	baixa	**0,0055**	**0,0361**	0,007	muito baixa <k> alta
	$K_{(Chaves)}$	0,0156	média	**0,0007**	**0,0255**	0,005	muito baixa <k> média
	$K_{(Renard_a)}$	0,0290	média	**0,0236**	**0,0394**	0,004	média <k> alta
	$K_{(Renard_b)}$	0,0318	alta	**0,0251**	**0,0450**	0,005	média <k> alta
	$K_{(Sharpley_a)}$	0,0348	alta	**0,0181**	**0,0406**	0,005	média <k> alta
	$K_{(Sharpley_b)}$	0,0136	baixa	**0,0046**	**0,0239**	0,003	muito baixa <k> média
LRd - Latossolo Roxo Distrófico	$K_{(Bouyoucos)}$	0,0292	média	**0,0076**	**0,0825**	0,032	muito baixa <k> extrem.
	$K_{(Denardin)}$	0,0275	média	**0,0208**	**0,0348**	0,006	media <k> alta
	$K_{(Wischmeier)}$	0,0186	média	**0,0038**	**0,0270**	0,011	muito baixa <k> média
	$K_{(Lima)}$	0,0314	alta	**0,0095**	**0,0454**	0,015	baixa <k> alta
	$K_{(Chaves)}$	0,0167	média	**0,0146**	**0,0198**	0,002	**baixa <k> média**
	$K_{(Renard_a)}$	0,0374	alta	**0,0247**	**0,0436**	0,008	média <k> alta
	$K_{(Renard_b)}$	0,0428	alta	**0,0264**	**0,0506**	0,011	média <k> muito alta
	$K_{(Sharpley_a)}$	0,0265	média	**0,0237**	**0,0328**	0,003	média <k> alta
	$K_{(Sharpley_b)}$	0,0234	média	**0,0105**	**0,0409**	0,011	baixa <k> alta
PEd - Podzólico Vermelho-Escuro Distrófico	$K_{(Bouyoucos)}$	0,0946	extrem.alta	**0,0353**	**0,2221**	0,040	alta <k> extremam. alta
	$K_{(Denardin)}$	0,0395	alta	**0,0351**	**0,0496**	0,003	alta <k> muito alta
	$K_{(Wischmeier)}$	0,0111	baixa	**0,0010**	**0,0291**	0,006	muito baixa <k> média
	$K_{(Lima)}$	0,0159	média	**0,0039**	**0,0354**	0,007	muito baixa <k> alta
	$K_{(Chaves)}$	0,0152	média	**>0,0001**	**0,0284**	0,007	muito baixa <k> média
	$K_{(Renard_a)}$	0,0280	média	**0,0196**	**0,0358**	0,004	média <k>alta
	$K_{(Renard_b)}$	0,0306	alta	**0,0203**	**0,0404**	0,005	média <k> alta
	$K_{(Sharpley_a)}$	0,0371	alta	**0,0302**	**0,0461**	0,003	alta <k> muito alta
	$K_{(Sharpley_b)}$	0,0144	baixa	**0,0083**	**0,0437**	0,005	muito baixa <k> alta
PVa - Podzólico Vermelho-Amarelo Álico	$K_{(Bouyoucos)}$	0,0801	extrem.alta	**0,0558**	**0.0940**	0,016	muito alta <k> extrem.
	$K_{(Denardin)}$	0,0409	alta	**0,0334**	**0,0478**	0,005	alta <k> muito alta
	$K_{(Wischmeier)}$	0,0160	média	**0,0083**	**0,0221**	0,006	muito baixa <k> média
	$K_{(Lima)}$	0,0225	média	**0,0105**	**0,0335**	0,010	baixa <k> alta
	$K_{(Chaves)}$	0,0116	baixa	**>0,0001**	**0,0222**	0,010	muito baixa <k> média
	$K_{(Renard_a)}$	0,0307	alta	**0,0282**	**0,0346**	0,002	média <k>alta
	$K_{(Renard_b)}$	0,0339	alta	**0,0308**	**0,0387**	0,003	**alta**
	$K_{(Sharpley_a)}$	0,0364	alta	**0,0328**	**0,0403**	0,003	**alta**
	$K_{(Sharpley_b)}$	0,0143	baixa	**0,0106**	**0,0189**	0,004	baixa <k> média
PLa - Planossolo Álico	$K_{(Bouyoucos)}$	0,1208	extrem.alta	**0,0975**	**0,1475**	0,022	extremamente alta
	$K_{(Denardin)}$	0,0353	alta	**0,0341**	**0,0369**	0,001	alta
	$K_{(Wischmeier)}$	0,0029	m.baixa	**0,0004**	**0,0056**	0,002	**muito baixa**
	$K_{(Lima)}$	0,0059	m.baixa	**0,0032**	**0,0115**	0,003	muto baixa <k> baixa
	$K_{(Chaves)}$	0,0135	baixa	**0,0103**	**0,0151**	0,002	**baixa**
	$K_{(Renard_a)}$	0,0231	média	**0,0215**	**0,0244**	0,001	média
	$K_{(Renard_b)}$	0,0245	média	**0,0225**	**0,0260**	0,001	média
	$K_{(Sharpley_a)}$	0,0334	alta	**0,0316**	**0,0343**	0,001	alta
	$K_{(Sharpley_b)}$	0,0087	m.baixa	**0,0073**	**0,0097**	0,001	muito baixa <k> baixa

Fonte: [1]Principais Tipos de Solos, Mapa de Solos do Estado (MATO GROSSO DO SUL, 1989; SISLA, 2020).

Tabela 6 - Estatística descritiva da erodibilidade do solo para diferentes metodologias na BHRP.

Na Tabela 6, para o LEa, os métodos que se enquadraram foram os de Wischmeier e o de Sharpley_b, sendo que o de Chaves apenas coincidiu a classe dos valores extremos. Apesar de dois métodos se enquadrarem completamente aos critérios adotados, observa-se que a metodologia de Wischmeier (mesmo apontando um valor médio em consonância com o encontrado por Correchel (2003) em seu estudo) observa-se que o valor mínimo foi extremamente baixo. Alguns trabalhos apontaram tal comportamento, como o trabalho de Marques (2013), e em certos casos indicaram valores negativos como observado por Oliveira e Bahia (1984). Assim, a metodologia Sharpley_b melhor se enquadrou para os LEa da BHRP.

Para o LRd (Tabela 6) a melhor metodologia foi a de Wischmeier. Já a metodologia de Chaves atendeu parcialmente, coincidindo apenas com o valor médio.

Alguns trabalhos (AMORIM et al., 2009; EDUARDO et al., 2013) indicam que a metodologia de Wischmeier em certos casos pode ser inadequada para alguns solos muito intemperizados. Mas, com base nos critérios adotados, pelo menos aos solos mais argilosos da BHRP (o LRd), a metodologia apresentou um apreciável resultado.

No caso do PEd (Tabela 6) apenas a metodologia de Renard_a se enquadrou aos critérios adotados. Essa metodologia possui forte influência da variação do diâmetro médio geométrico das partículas do solo, e parece que melhor representou os solos mais arenosos da BHRP. Sendo também a metodologia de destaque para o PVa.

Para o PLa, as metodologias que se enquadraram foram a de Lima e a de Sharpley_b. Nesse caso, o fato de as duas metodologias terem atendido os critérios adotados, sugere a possibilidade do uso das duas. Porém, como critério final de escolha, serão avaliados também o comportamento espacial de cada metodologia.

Antes da análise geoestatística, torna-se relevante analisar as interações entre as metodologias testadas e os atributos do solo. Assim, nas Tabelas 7 e 8, são respectivamente apresentadas a matriz de correlação de Pearson entre as metodologias de determinação da erodibilidade do solo, e a matriz de correlação entre as metodologias e os atributos do solo.

Na Tabela 7, destacam-se as correlações dadas entre Bouyoucos vs Denardin (r = 0,27), Bouyoucos vs Sharpley_a (r = 0,63) e, Denardin vs Sharpley_a (r = 0,62). O destaque para esse conjunto de metodologias está na relação positiva entre elas em contraposição, por exemplo, aos pares Bouyoucos vs Wischmeier (r = -0,61), Bouyoucos vs Lima (r = -0,72), Bouyoucos vs Renard_a e b (r = -0,84) e, Bouyoucos vs Sharpley_b (r = -0,62). Essa constatação indica dois grupos que assumem comportamentos opostos em seus resultados. No primeiro caso (correlações positivas), a metodologia de Bouyuocos sofre extrema influência do teor de areia e argila (cuja erodibilidade eleva-se com o aumento da areia e reduz com o incremento da argila) (Tabela 8). Na metodologia de Denardin, apesar de ser uma metodologia melhor elaborada, também se observa a mesma influência da granulometria, porém nesse caso, não tem um peso extremo como na metodologia de Bouyoucos. Do mesmo modo, a forma de cálculo apresentada na metodologia de Sharpley_a, também se observa essa influência dos teores de areia e argila.

Metodologias	Coeficiente de Correlação							
	$K_{(Bouyoucos)}$	$K_{(Denardin)}$	$K_{(Wischmeier)}$	$K_{(Lima)}$	$K_{(Chaves)}$	$K_{(Renard_a)}$	$K_{(Renard_b)}$	$K_{(Sharpley_a)}$
$K_{(Denardin)}$	0,27							
$K_{(Wischmeier)}$	-0,61	0,09						
$K_{(Lima)}$	-0,72	-0,11	0,92					
$K_{(Chaves)}$	-0,06	0,38	0,05	0,08				
$K_{(Renard_a)}$	-0,84	-0,23	0,86	0,90	0,01			
$K_{(Renard_b)}$	-0,84	-0,25	0,85	0,90	0,01	1,00		
$K_{(Sharpley_a)}$	0,63	0,62	-0,09	-0,31	0,01	-0,45	-0,46	
$K_{(Sharpley_b)}$	-0,62	-0,21	0,74	0,72	0,09	0,78	0,78	-0,18

Tabela 7 - Matriz de correlação entre metodologias de determinação da erodibilidade do solo.

Assim, essas metodologias (Bouycous, Denardin e Sharpley_a) indicarão maiores erodibilidades em função da elevação dos teores de material mais grosseiro (areia) e vice-versa (Tabela 8).

Metodologia/ Atributo	Coeficiente de Correlação								
	$K_{(Bouyoucos)}$	$K_{(Denardin)}$	$K_{(Wischmeier)}$	$K_{(Lima)}$	$K_{(Chaves)}$	$K_{(Renard_a)}$	$K_{(Renard_b)}$	$K_{(Sharpley_a)}$	$K_{(Sharpley_b)}$
Areia	0,73	0,52	-0,70	-0,79	-0,13	-0,86	-0,87	0,51	-0,79
Silte	-0,56	-0,13	0,80	0,76	0,19	0,77	0,78	-0,07	0,83
Argila	-0,73	-0,62	0,61	0,75	0,09	0,83	0,84	-0,63	0,71
M. Orgânica	-0,53	0,04	0,56	0,62	0,59	0,66	0,67	-0,30	0,52

Tabela 8 - Matriz de correlação entre metodologias de determinação da erodibilidade do solo e os atributos físicos e químico do solo.

Esse comportamento parece ser algo mais comum à compreensão da erodibilidade dos solos brasileiros pelos pesquisadores brasileiros. A compreensão de que o aumento da erodibilidade do solo está atrelado a maior presença de areia, e consequentemente devido a tais características (solos mais friáveis e menos estruturados) são mais propensos à erosão, mesmo apresentando por vezes boa capacidade de infiltração.

Por outro lado, as demais metodologias (Wischmeier, Lima, Renard_a e b, e Sharpley_b), parecem ter um comportamento indicando que as maiores erodibilidades estariam relacionadas à menor capacidade de drenagem do solo. Assim, solos mais arenosos teriam menores erodibilidades que os mais argilosos (Tabela 8).

Portando, no sentido de reforçar a ideia discutida, nas Figuras 3 e 4 são apresentados os gráficos das linhas de tendência observadas para as correlações positivas e negativas entre as metodologias com o teor de areia dos solos da BHRP.

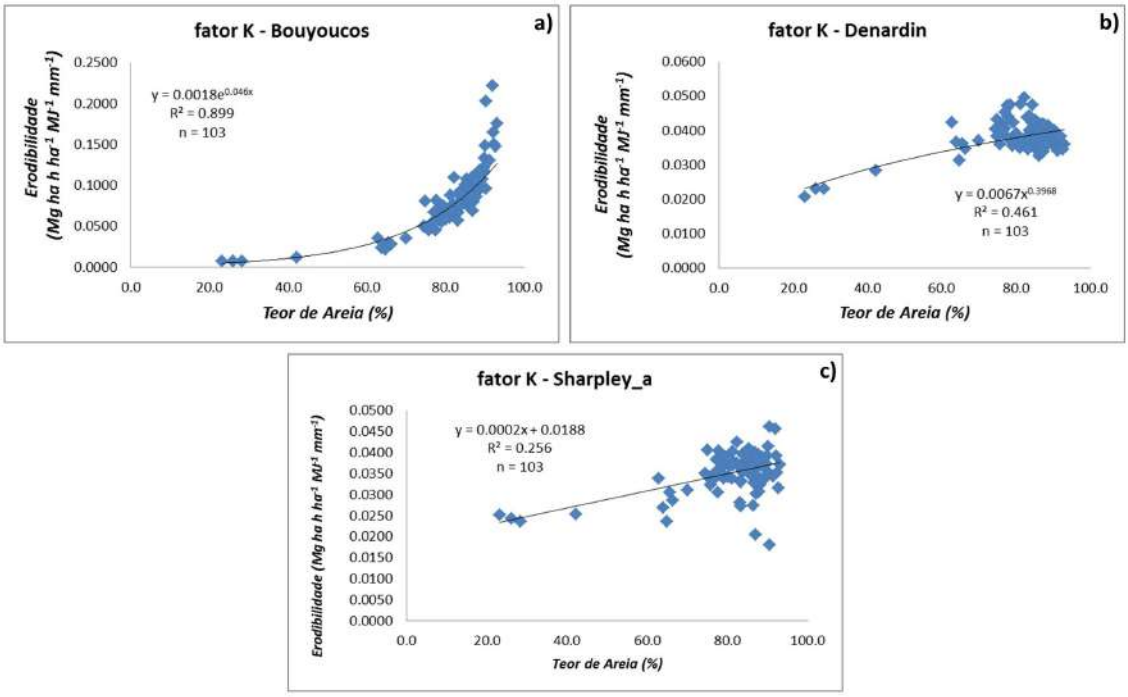

Figura 3 - Linhas de tendência entre as principais interações (positivas) da erodibilidade com o teor de areia dos solos da BHRP.

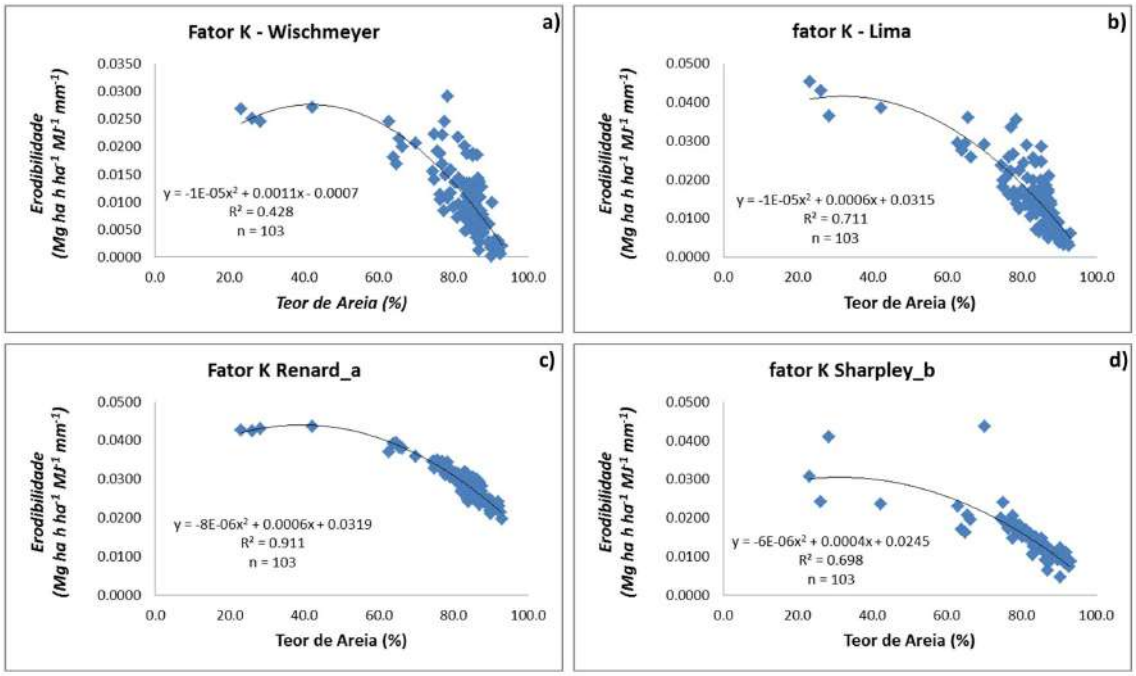

Figura 4 - Linha de tendência entre as principais interações (negativas) da erodibilidade com o teor de areia dos solos da BHRP.

Na Tabela 9 é apresentada a análise descritiva dos valores determinados para cada metodologia da erodibilidade do solo que serão empregados na análise geoestatística.

Metodologia	Medidas da Estatística Descritiva							
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente		
			Min.	Max.		Variação (%)	Curtose	Assimetria
	Erodibilidade do Solo (Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})							
$K_{(Bouyoucos)}$	0,0841	0,0828	0,0076	0,2221	0,0365	43,4	2.437	0,772
$K_{(Denardin)}$	0,0382	0,0382	0,0208	0,0496	0,0045	11,7	3.528	-0,836
$K_{(Wischmeier)}$	0,0111	0,0104	>0,0001	0,0291	0,0068	61,2	-0,275	0,621
$K_{(Lima)}$	0,0162	0,0149	0,0031	0,0454	0,0090	55,5	0,817	0,982
$K_{(Chaves)}$	0,0152	0,0160	>0,0001	0,0284	0,0063	41,4	1.574	-0,980
$K_{(Renard_a)}$	0,0289	0,0278	0,0196	0,0436	0,0050	17,3	0,699	0,902
$K_{(Renard_b)}$	0,0317	0,0303	0,0203	0,0505	0,0064	20,1	0,960	0,992
$K_{(Sharpley_a)}$	0,0352	0,0364	0,0181	0,0461	0,0048	13,6	1,788	-1,071
$K_{(Sharpley_b)}$	0,0143	0,0127	0,0046	0,0436	0,0057	39,8	9.673	2,505

Tabela 9 - Análise estatística descritiva da erodibilidade do solo na BHRP.

Segundo a classificação de Pimentel- Gomes e Garcia (2002), a variabilidade dos dados apresentou-se da seguinte forma: média variabilidade (Sharpley_a, Renard_a, Denardin); alta (Renard_b) e, muito alta (Bouyoucos, Wischmeier, Lima, Chaves, Sharpley_b). Sendo a variabilidade dos dados um requisito essencial para análise geoestatística, constata-se que os mesmos não apresentam restrições (Tabela 9).

A abordagem mais importante para o tratamento geoestatístico condiz à análise da assimetria dos dados. Assim, na Tabela 9, observa-se que à exceção da metodologia de Wischmeier, todas as demais apresentaram assimetrias positivas. Segundo Yamamoto e Landim (2013), quando for observado esse comportamento é recomendado o uso de transformações de dados, apesar de essa não ser uma condição restritiva (CRESSIE, 1991). Portanto, a análise geoestatística no presente estudo foi inicialmente efetuada aos dados originais e apenas realizou-se a conversão de dados nos casos onde não houve um

adequado desempenho semivariográfico ou quando não houve atendimento da hipótese intrínseca (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Assim, na Tabela 10 são apresentados os parâmetros de ajuste semivariográficos para as diferentes metodologias de determinação da erodibilidade do solo.

Metodologia	Medidas de Ajuste dos Semivariogramas									
	Modelo[a]	C_0	C_0+C	A(m)	R^2	SQR[b]	ADE[c] %	Validação Cruzada a	B	r
	Fator Erodibilidade do Solo									
$K_{(Bouyoucos)}$	esf	$3{,}31\times10^{-4}$	$1{,}19\times10^{-3}$	26970	0,591	$9{,}39\times10^{-7}$	72,2	0,000	1,039	0,777
$K_{(Denardin)}$*	exp	$1{,}27\times10^{-5}$	$1{,}49\times10^{-4}$	4290	0,410	$1{,}20\times10^{-8}$	91,5	0,006	0,850	0,686
$K_{(Wischmeier)}$*	exp	$1{,}83\times10^{-4}$	$1{,}06\times10^{-3}$	7440	0,594	$3{,}04\times10^{-7}$	82,8	0,000	1,013	0,849
$K_{(Lima)}$*	exp	$1{,}98\times10^{-4}$	$8{,}86\times10^{-4}$	7890	0,713	$1{,}01\times10^{-7}$	77,7	-0,001	1,073	0,883
$K_{(Chaves)}$*	exp	$1{,}56\times10^{-4}$	$5{,}93\times10^{-4}$	25530	0,636	$1{,}32\times10^{-7}$	73,7	0,004	0,754	0,529
$K_{(Renard_a)}$*	esf	$1{,}68\times10^{-5}$	$1{,}25\times10^{-4}$	6070	0,846	$1{,}42\times10^{-9}$	86,6	0,000	1,015	0,924
$K_{(Renard_b)}$*	esf	$2{,}12\times10^{-5}$	$1{,}80\times10^{-4}$	5900	0,837	$3{,}21\times10^{-9}$	88,2	0,000	1,009	0,926
$K_{(Sharpley_a)}$*	exp	$4{,}95\times10^{-5}$	$1{,}37\times10^{-4}$	7230	0,697	$1{,}97\times10^{-9}$	63,9	0,004	0,881	0,583
$K_{(Sharpley_b)}$*	exp	$1{,}83\times10^{-5}$	$2{,}74\times10^{-4}$	5040	0,596	$1{,}86\times10^{-8}$	93,3	0,001	0,931	0,762

[a] Modelos ajustados, onde: **exp** = exponencial, **esf** = esférico; [b] **SQR** = soma dos quadrados dos resíduos; [c] **ADE** = avaliador da dependência espacial; * transformação dos dados originais (raiz quadrada).

Tabela 10 - Parâmetros de ajuste dos semivariogramas experimentais para erodibilidade do solo por diferentes metodologias de determinação.

Na Tabela 10, os ajustes de melhor desempenho foram o esférico (Bouyoucos, Renard_a, Renard_b) e exponencial (Denardin, Chaves, Wischmeier, Lima, Sharpley_a e Sharpley_b), com coeficiente de determinação espacial (R2) variando entre 0,410 (Denardin) e 0,846 (Renard_a), e alcances que apresentaram dois grupos de magnitudes distintas variando entre (4290 m - 7890 m) e (25530 m - 26970 m).

De modo geral as metodologias apresentaram apreciáveis semivariogramas com ADE variando entre moderada e alta (ZIMBACK, 2001). Já as validações cruzadas indicaram que a krigagem proporcionará bons mapas de estimativas uma vez que a correlação entre os valores observados e estimados indicou r variando entre 0,583 (Sharpley_a) a 0,926 (Renard_b).

Assim, na Figura 5 são apresentados os mapas de krigagem gerados para erodibilidade do solo na área da BHRP para diferentes metodologias.

Na Figura 5 observam-se mapas distintos e outros similares. O mapa que mais se distingue dos demais é o da proposta de Bouyoucos, indicando as maiores erodibilidades para toda BHRP. Por outro lado, observam-se semelhanças entre os mapas de Denardim e Sharpley_a (cuja erodibilidade alta predominou homogeneamente em quase toda BHRP); e das propostas de Renard_a e Renard_b (que possuem a mesma origem metodológica). As propostas de Renard por sua vez demonstraram uma maior variabilidade espacial, com classe de média erodibilidade predominante no alto curso (mais arenoso) e alta erodibilidade predominante no baixo curso da bacia (menos arenoso).

As propostas de Wischmeier e de Lima apresentaram características semelhantes com diferenças apenas nas magnitudes, uma vez que as metodologias são similares (Figura 5). Estes mapas também possuem algumas semelhanças com os mapas de Chaves e Sharpley_b. Ressalta que este último grupo de mapas apresentaram os menores valores de erodibilidade para a BHRP.

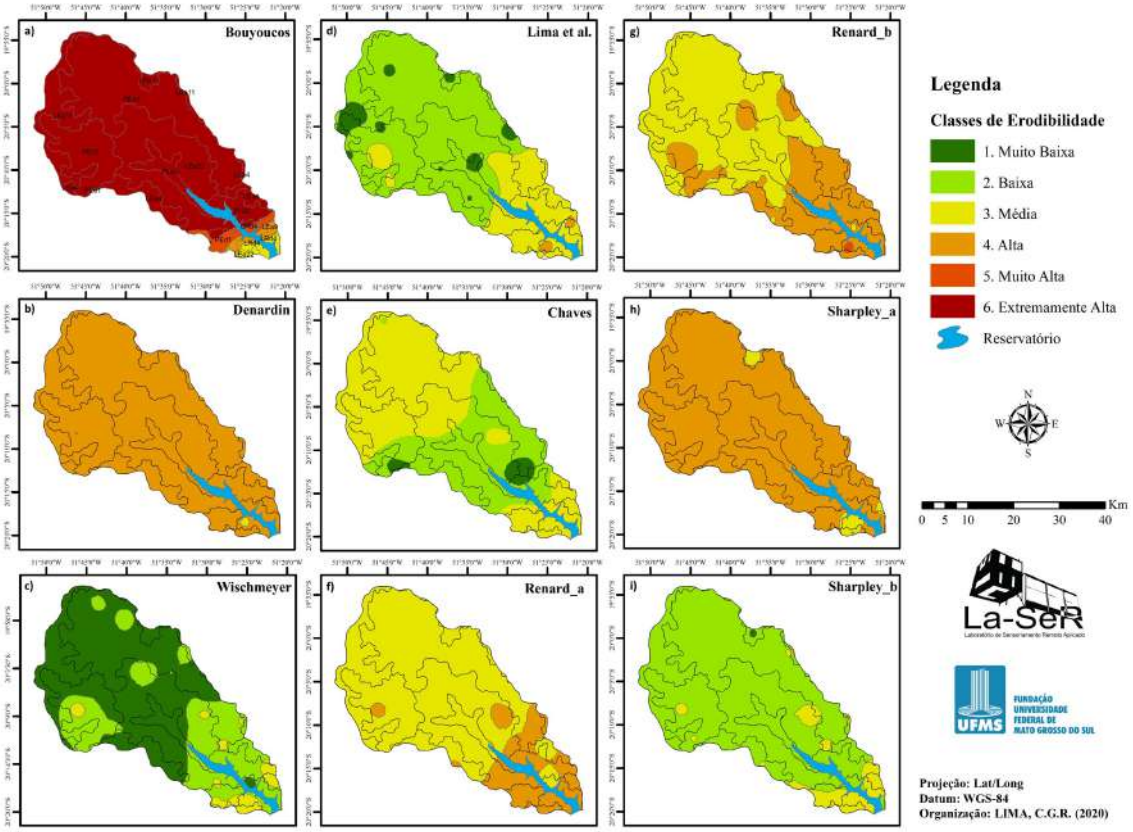

Figura 5 - Mapas de krigagem da erodibilidade do solo na BHRP para diferentes metodologias de determinação.

Com base na análise realizada na Tabela 6, algumas metodologias foram mais adequadas que outras. Assim, para as áreas do LEa, adotou-se a metodologia Sharpley_b; para o LRd adotou-se a de Wischmeier; para o PEd e PVa adotou-se a de Renard_a; e para o PLa adotou-se também a proposta de Sharpley_b, uma vez que a metodologia de Lima no mapeamento geoestatístico gerou valores que foram classificados como média erodibilidade, quando os valores extremos observados na literatura (Tabela 6) não ultrapassaram a classe baixa.

Assim, considerando a integração desses dados, na Figura 6 é apresentado o resultado final do mapeamento de erodibilidade dos solos para a área da BHRP. Estes mapas (de variabilidade contínua e classificada) apresentam as estimativas da erodibilidade que se encontram o mais próximo dos valores observados na literatura nacional.

Na Figura 6, a classificação dos valores, de acordo com Castro et al. (2011), permitiu constatar que 46,6% da área da BHRP apresenta média erodibilidade (predominantemente nos Podzólicos Vermelho-Escuros), 45,1% da área apresenta baixa erodibilidade (predominantemente nos Latossolos), ao passo que a classe muito baixa apresentou 0,5% e, a classe muito alta 7,9% da área da bacia (predominantemente nos Podzólicos Vermelho-Amarelos).

O resultado apresentado pelo mapa final (Figura 6) trata-se de uma informação técnica de essencial utilidade para o planejamento ambiental na BHRP, principalmente pelo fato das classes média e alta erodibilidade ocuparem mais de 50% da bacia, que por sua vez, tem passado por intensas mudanças de uso e cobertura da terra em função de alterações socioeconômicas desenvolvidas na região leste de MS na última década, essencialmente no município de Selvíria que abrange majoritariamente a BHRP.

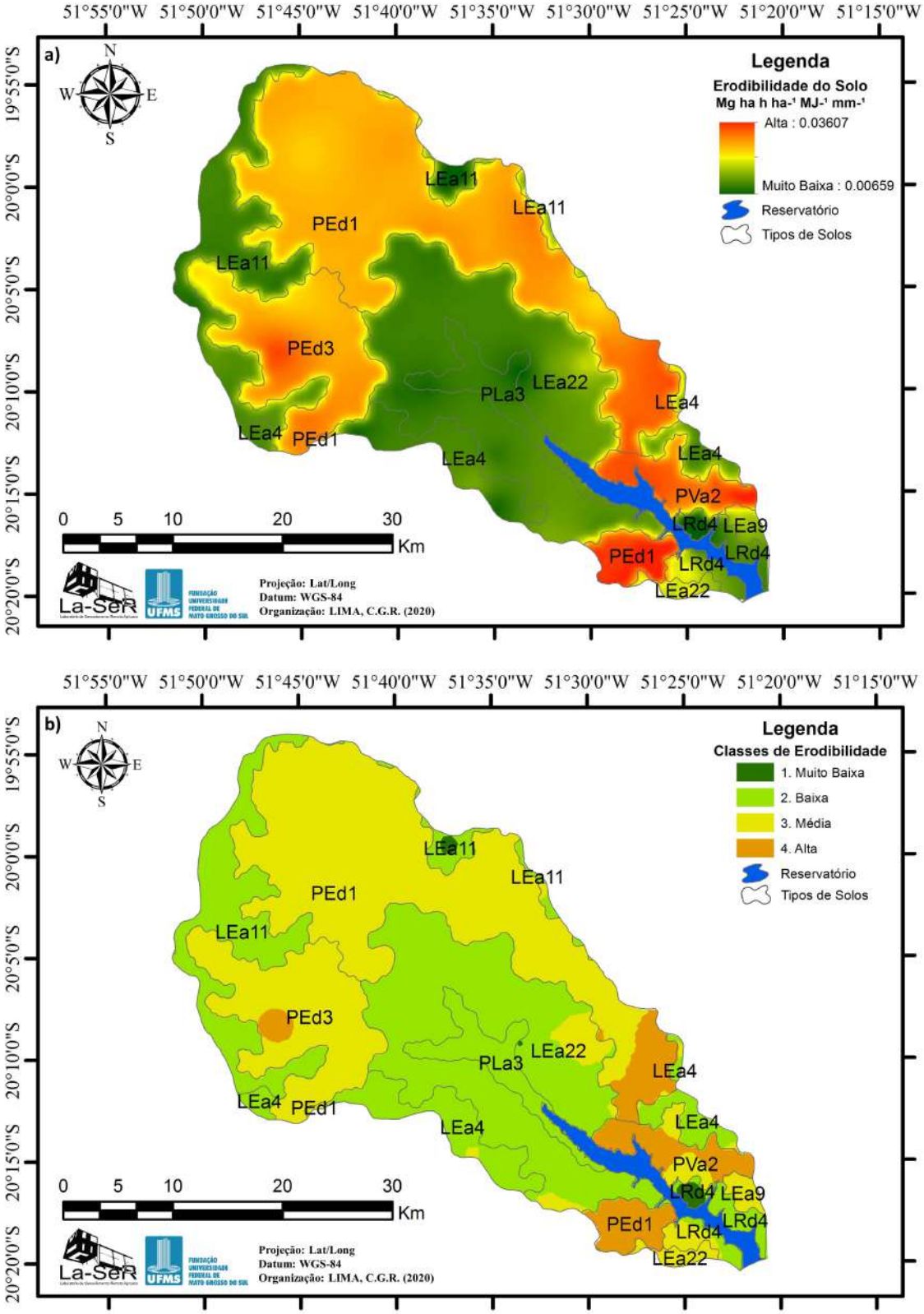

Figura 6 - Mapa de erodibilidade do solo para a área da BHRP, MS.

CONCLUSÕES

As nove metodologias analisadas representam uma parcela de inúmeras metodologias indiretas

existentes. Por outro lado, são aquelas que fazem uso de um grupo de atributos físicos/químico mais acessíveis e de menor custo aos pesquisadores, tal como a granulometria e a matéria orgânica do solo.

Apesar das metodologias analisadas fazerem o uso geral dos mesmos atributos iniciais, elas indicaram por vezes respostas antagônicas quando correlacionadas com a granulometria. Como por exemplo, no caso das metodologias de Bouyoucos, Denardin e Sharpley_a a erodibilidade aumentou com o teor de areia. Já para os métodos de Wischmeier, Lima, Renard_a, e Sharpley_b a erodibilidade reduziu com o aumento do teor de areia. Tal fato, ao indicar respostas divergentes entre as metodologias, evidencia que a adoção de uma única metodologia pode resultar em estimativas inadequadas para uma área de estudo, principalmente quando diante de uma grande variedade de solos.

Diante desse desafio, a proposta de validação e escolha das melhores metodologias para a área de estudo se mostrou consistente e indicou que para a Bacia Hidrográfica do Rio Pântano as melhores estimativas foram dadas pelas propostas de Sharpley e Williams (LEa e PLa), de Wischmeier e Smith (LRd), e de Renard (PEd e PVa).

Do ponto de vista geoestatístico, todas as diferentes metodologias de mensuração da erodibilidade do solo testadas apresentaram dependência espacial com apreciáveis parâmetros dos ajustes semivariográficos, o que proporcionou bons mapas de krigagem. Tal fato expande as possibilidades do uso dessas metodologias indiretas, uma vez que suas estimativas não indicaram obstáculos à aplicação da geoestatística, permitindo assim, vislumbrar as diferenças do comportamento espacial da erodibilidade na BHRP para todas as propostas metodológicas.

O mapa final da erodibilidade do solo para a Bacia do Rio Pântano foi composto por um mosaico das metodologias que melhor representaram cada tipo de solo, indicando as seguintes classes de erodibilidade: Média (ocupando 46,4% da área da bacia, predominantemente nos PVd); Baixa (45,1%, predominantemente nos Latossolos), ao passo que a classe muito baixa ocupou 0,5% e, a classe muito alta 7,9% da área da bacia (predominantemente nos PVa).

Por fim, ressalta-se como resultado efetivo desse estudo que, diante dos diferentes tipos de solos e de suas características físicas e química, o uso de uma única e exclusiva metodologia pode subestimar ou superestimar os valores da erodibilidade do solo, tornando os resultados não adequados para o uso, principalmente no que concerne ao manejo conservacionista.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa (processo n. 306448/2020-3). Os autores agradecem ainda ao apoio institucional da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (FEIS/UNESP) e do Campus de Três Lagoas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (CPTL/UFMS).

REFERÊNCIAS

AL RAMMAHI, A. H. J.; KHASSAF, S. I. Estimation of soil erodibility factor in RUSLE equation for Euphrates river watershed using GIS. International Journal of Geomate, v.14, p.164-169, 2018.

ALBALADEJO, J.; ORTIZ, R.; GUILLEN, F.; ALVAREZ, J.; MARTINEZ-MENA, M.; CASTILLO V. Erodibility of agricultural soils in the semiarid Mediterranean area of Spain. Arid Soil Research and Rehabilitation, v.9, p.219-226, 2009.

ALMEIDA, E. P. C.; ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Planossolos Háplicos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Embrapa). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn362j9y02wx5ok0liq1mq86zqh78.html. Acessado em 26 Jan de 2020.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F .F. (Ed.) Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle

da erosão hídrica. 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p.74-107.

ANACHE, J. A. A.; BACCHI, C. G. V.; PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T. Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling. Geociências, v.34, p.32-40, 2015.

ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia Córrego do Tijuco, SP. Bioscience Journal, v.26, p.849-857, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação dos solos. 6.ed. São Paulo: Editora Ícone, 2008. 355p.

BOUYOUCOS, G. J. The Clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. American Society of Agronomy Journal, v.27, p.738-741, 1935.

BRASIL. PCBAP - Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal): análise integrada e prognóstico da bacia do Alto Paraguai. v.3. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (Programa Nacional do Meio Ambiente/Projeto Pantanal), 1997. 369p. (anexos).

CAMPOS, B. H. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho - Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19, p.121-126, 1995.

CARVALHO, E. M.; LEITE, E. F. Erosividade e erodibilidade na bacia hidrográfica do córrego João Dias, Aquidauana/MS. Revista Geografar, v.10, p.88-111, 2015.

CASTRO, W. J.; LEMKE-DE-CASTRO, M. L.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, L. F. C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C. C. Erodibilidade de solos do cerrado goiano. Revista de Agronegócios e Meio Ambiente, v.4, p.305-320, 2011.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ, V. V. H; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.731-750.

CHAVES, T. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; CARVALHO JÚNIOR, A. O.; BRAGA, A. R. S.; GUIMARÃES, R. F. Mapa de erodibilidade dos solos da bacia do rio Jardim-DF. Espaço e Geografia, v.13, p.253-276, 2010.

CORRECHEL, V. Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do "fallout" do 137Cs. 2003. 79f. Tese (Doutorado em Ciências). Centro de Energia Nuclear da Agricultura, Piracicaba, 2003.

CRESSIE, N. A. C. Statistics for spatial data. New York: John Wiley e Sons, 1991. 920p.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do ribeirão das Perobas. Energia na Agricultura, v.29, p.102-114, 2014.

DENARDIN, J. E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990. 114f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1990.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.51, p.1003-1020, 2016.

EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F.; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F. C.; ALMEIDA, W. S. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.796-803, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. (Revisada). Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 2011. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos - SiBCS. 5.ed. (Revisada e ampliada). Brasília: Embrapa Solos, 2018. 356p.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 10.6. Software, Environmental Systems Research Institute, Redlands, 2019.

GALDINO, S.; RISSO, A.; RISSO, I.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M.; PADOVANI, C. R.; POTT, A.; Melo, E. C.; ALMEIDA JÚNIOR, N. Perdas de solo na bacia do Alto Taquari. Corumbá: EMBRAPA/CPAP, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2003. 40p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.169-177, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil. Documentação Técnica Geral, 2018. 8p. Mapas, Pedologia, Escala 1:250.000. Disponível em: Informações ambientais, Pedologia, escala_250_mil.

LIMA, C. G. R.; MARQUES, S. M.; LOLLO, J. A.; COSTA, N. R.; CARVALHO, M. P. Inter-relationships among erodibility, soil tolerance and pysical-chemical attributes in northwestern of São Paulo state. Journal of Urban and Environmental Engineering, v.13, p.102-114, 2019.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; EID, N. J.; MARTINS, E. S.; KOIDE, S.; REATTO, A. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do alto rio Jardim - DF. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.8, p.23-36, 2007.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade em Latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.14, p.186-193, 1990.

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

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; SÁ, M. A. C. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, p.447-456, 1997.

MARQUES, V. S. Erosão hídrica em microbacias utilizando geotecnologias. 2013. 177f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

MATO GROSSO DO SUL (Estado). Macrozoneamento Geoambiental do estado de Mato Grosso do Sul (1984/1985). Campo Grande: SEPLAN/MS - IBGE, 1989. 242p. Mapas, escala 1:1.000.000.

MIQUELONI, D. P.; GIANELLO, E. M.; BUENO, C. R. P. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.45, p.18-28, 2015.

OLIVEIRA, V. H.; BAHIA, V. G. Erodibilidade de seis solos do município de Lavras - MG, usando o método do nomograma. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.19, p.1157-1162, 1984.

PARWADA, C.; VAN TOL, J. Soil properties influencing erodibility of soils in the Ntabelanga area, Eastern Cape Province, South Africa. Journal Acta Agriculturae Scandinavica, v.67, p.67-76, 2016.

PIMENTEL-GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

RENARD, K . G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K., YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: USDA, Agriculture Handbook, 1997. 251p.

RIBEIRO, M. A. V. Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade. 1999. 71 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

ROBERTSON, G. P. GS+: geostatistics for environmental sciences, Version 7.0. Michigan: Plainwell - Gamma Desing Software, 2004. 179p.

SANTOS, H. G.; FIDALGO, E. C. C.; ÁGLIO, M. L. D. Solo. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Embrapa) . Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fesi63xh02wx5eo0y53mhyx67oxh3.html. Acessado em 26 Jan de 2020.

SHARPLEY, A. N.; WILLIAMS, J. R. EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator: 1 Model Documentation. Washington: USDA, Technical Bulletin 1768, 1990. 235p.

SISLA – Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental. Macrozoneamento 1984/1985: Solos-MS (mapa digital), Escala 1:250.000. Disponível em: Acessado em Jan. 2020.

SILVA, A. M.; ALVARES, A. C. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre erodibilidade de classes de solo no estado de São Paulo. Revista Geociências, v.24, p.33-42, 2005.

SILVA, L. F. S.; MARINHO, M. A.; ROCCO, E. O.; WALTER, M. K. C.; BOSCHI, R. S. Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um Latossolo Vermelho da região de Campinas, SP. Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente, v.3, p.51-58, 2016.

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, p.1207-1220, 2000.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Latossolos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Embrapa). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acessado em 26 Jan de 2020.

TAKAL, K. M.; MITTAL, S. K., SARUP, J. Estimation of soil erosion and net sediment trapped of upper-helmand catchment in Kajaki reservoir using USLE model and remote sensing e GIS technique. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v.4, p.150-156, 2017.

USDA - United States Department of Agriculure. National Soil Survey Handbook n.430. Washington: USDA, 1983.

VALE JÚNIOR, J. F.; BARROS, L. S.; SOUSA, M. I. L.; UCHÔA, S. C. P. Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de Acacia mangium em Roraima. Revista Agro@mb On-line, v.3, p.1-8, 2009.

VIEIRA, V. F. Estimativa de perdas de solo por erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica. Revista Geografia, v.17, p.73-81, 2008.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Soil and Water Conservation Journal, v.26, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, Agricultural Handbook 537, 1978. 67p.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Editora Oficina de Letras, 2013. 216p.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Argissolos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Embrapa). Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html. Acessado em 26 Jan de 2020.

ZHANG, K. L.; SHU, A. P.; XU, X. L.; YANG, Q. K.; YU, B. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. Journal of Arid Environments, v.72, p.1002–1011, 2008.

ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.