

Álgebra de mapas na estimativa qualitativa de perda de solo anual por erosão hídrica laminar na Bacia do Rio Dourados

Map Algebra in the Qualitative Estimation of Annual Soil Loss by Laminar Erosion in the Dourados River Basin, Brazil

Álgebra de Mapas en la estimación cualitativa de la pérdida anual de Suelo por erosión laminar en la Cuenca del Río Dourados, Brasil

Nelison Ferreira Correa

<http://orcid.org/0000-0003-4210-0619>

nelison_ferreira@hotmail.com

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Campo Grande, MS, Brasil

Vinícius de Oliveira Ribeiro

<http://orcid.org/0000-0002-4373-1132>

vinicius.ribeiro@uems.br

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Dourados, MS, Brasil

Laércio Alves de Carvalho

<https://orcid.org/0000-0002-3184-9862>

uemslaercio@gmail.com

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Dourados, MS, Brasil

Antonio Conceição Paranhos Filho

<https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>

antonio.paranhos@ufms.br

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Campo Grande, MS, Brasil

Yani Scatolin Mendes

<https://orcid.org/0000-0001-9315-9704>

yanimendes@gmail.com

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Dourados, MS, Brasil

Resumo: Os custos para realização de medições representativas e acuradas, *in situ*, para estimativas da erosão hídrica laminar em áreas extensas são bastante onerosos. O trabalho objetivou espacializar e analisar a susceptibilidade erosiva do solo da bacia

hidrográfica do Rio Dourados, de forma qualitativa, por meio da aplicação da USLE/RUSLE com auxílio de geotecnologias livres e gratuitas. Como resultados constatou-se que 46,2% da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados apresenta baixa perda de solos com valores menores a 10 ton/ha.ano. Regiões com solo exposto, uso e ocupação do solo com predominância agrícola juntamente com os fatores de solos com maior erodibilidade e topografia específica (declives maiores), acarretam grandes perdas anuais de solo (> 150 ton/ha.ano) em 2,4% da área da bacia.

Palavras-chave: USLE, Geotecnologias, Conservação do solo.

Abstract: The costs for carrying out representative and accurate measurements, *in situ*, for estimating laminar water erosion in large areas are quite expensive. The work aimed to spatialize and analyze the soil erosive susceptibility of the Dourados Watershed qualitatively through the application of USLE/RUSLE and free geotechnologies. It can be observed that 46,2% of the Dourados river watershed presents a soil loss of fewer than 10 tons/ha. Per year. Regions with exposed soil, land use, and occupation with agricultural predominance along with soil factors with higher erodibility and specific topography (larger slopes) lead to large annual losses of soil (> 150 ton/ha.year) in 2,4% of the watershed.

Keywords: USLE, Geotechnology, Soil conservation.

Resumen: Los costos de realizar mediciones representativas y precisas, *in situ*, para estimar la erosión hídrica laminar en grandes áreas son bastante elevados. El trabajo apuntó a analizar espacial y cualitativamente la susceptibilidad erosiva del suelo de la cuenca hidrográfica del río Dourados, mediante la aplicación de USLE/RUSLE con la ayuda de geotecnologías libres y gratuitas. Como resultado, se encontró que el 46,2% de la Cuenca Hidrográfica del Río Dourados tiene bajas pérdidas de suelos con valores inferiores a 10 t/ha.año. Las regiones con suelo expuesto, uso y ocupación de suelo con predominio agrícola junto con los factores de suelos con mayor erosionabilidad y topografía específica (pendientes más altas), ocasionan grandes pérdidas anuales de suelo (> 150 t/ha.año) en el 2,4% de la cuenca.

Palabras clave: USLE, Geotecnologías, Conservación del suelo.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são consideradas unidades territoriais para planejamento no Brasil, conforme prevaído pela Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH instituída pela Lei n. 9.433/1997, na qual prepondera o embasamento ambiental destas áreas por meio de monitoramento e estudos ambientais, integrando a gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental.

Dentre os vários fatores que acarretam impactos potenciais ambientais negativos nos recursos hídricos estão o uso e ocupação do solo (atividades industriais, agrossilvipastoris, urbanas, entre outros), juntamente com as características ambientais do local, como pedologia, topografia, pluviometria, visto sua capacidade de resiliência frente a tais impactos.

A erosão hídrica laminar é um fenômeno natural que pode ser potencializado por ações antrópicas causadas por um inconsciente uso e ocupação do solo em determinada bacia hidrográfica. Seu principal agente erosivo é a água não infiltrada no solo por insuficiência de cobertura vegetal, bem como o processo de selamento superficial do solo por

compactação (excesso de tráfego de máquinas agrícolas, pastagens degradadas, entre outros). Esta erosão é um dos principais problemas existentes na agricultura por reduzir significativamente a produtividade dos cultivos (Merten et al., 1995).

Frente aos modelos existentes para quantificação do processo de erosão hídrica laminar, tem-se a Equação Universal de Perda de Solo - EUPS¹ (Wischmeier & Smith, 1978) que a partir do desenvolvimento de pesquisas e melhorias experimentais originou o modelo da Equação Universal de Perda de Solo Revisada² (Renard, Foster & Weesies, 1997), que apresenta maior controle dos dados frente ao fator topográfico (LS). Salienta-se que este modelo apresenta alto grau de empirismo, mostrando-se satisfatório para análises qualitativas de perda de solo, permitindo a espacialidade das áreas mais susceptíveis à erosão laminar (Bloise et al., 2001).

Borges (2009) aponta que os custos onerosos para realização de medições a campo para mensuração da erosão hídrica laminar em áreas muito extensas promoveram a integração dos modelos matemáticos junto a Sistemas de Informações Geográficas -SIGs, e facilitaram a manipulação e processamento de inúmeros dados de fatores ambientais e antrópicos a fim de se obter estimativas qualitativas de perda de solo.

De acordo com Lopes et al. (2011), as geotecnologias tornaram-se ferramentas facilitadoras no desenvolvimento de estimativas de perda de solo anual por meio de erosão hídrica laminar, permitindo análise rápida e dinâmica da área em estudo. Utilizadas por órgãos públicos e privados, visando melhor gerenciamento ambiental das bacias hidrográficas, permite coleta de dados, processamento e análise para tomadas de decisão (Carvalho et al., 2010).

Dentre as várias ferramentas disponíveis no geoprocessamento, destaca-se a álgebra de mapas (ou campos) no qual os elementos da álgebra são constituídos de cartas que relacionam determinada região estudada atribuindo valores quantitativos ou qualitativos a estes locais, buscando desta forma a execução de uma modelagem (Paranhos Filho et al., 2016). Assim, este trabalho objetivou espacializar e analisar a susceptibilidade erosiva do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, no estado de Mato Grosso do Sul, de forma qualitativa por meio da aplicação da Equação Universal de Perda do Solo - USLE/RUSLE com auxílio da álgebra de mapas.

MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do Rio Dourados (BHRD) está inserida no sistema Paraná, sub-bacia do Rio Ivinhema e Bacia do Rio Brilhante. O corpo hídrico da calha central tem suas nascentes localizadas ao sul da Serra de Maracaju, no município de Antônio João (MS) e sua foz deságua no Rio Brilhante.

1 USLE em inglês.

2 RUSLE em inglês.

Obtenção do Modelo Digital de Elevação - MDE, e Modelo Digital de Superfície - MDS SRTM

A presença de vegetação, interferências no sensor de obtenção, ações antrópicas, dentre outros, podem promover inconsistências nas limitações e nas altimetrias das bacias hidrográficas afetando diretamente no cálculo de área e perímetro bem como na modelagem dos segmentos de fluxo (Valeriano et al., 2006).

Para esta etapa, foram utilizadas quatro imagens do satélite Landsat 8 TM (United States Geological Survey [USGS], 2017) bandas 5-4-2, órbita-ponto 224/75, 224/76, 225/75 e 225/76, com data de passagem de 24 de abril de 2017, imagem *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM com resolução espacial de 30 metros (Global Land Cover Facility [GLCF], 2000) de mesmas órbitas-pontos, bacia hidrográfica de 5° nível disponibilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017) e vetorialização dos cursos d'água utilizando-se das cartas topográficas oficiais da região abordada no estudo elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (Diretoria de Serviço Geográfico [DSG], 1979a, 1979b), todos convertidos para o Datum SIRGAS 2000. Além disso, pontos de controle de campo (GCPs) foram obtidos por DGPS TOPCON HiPerGGD.

Assim, realizou-se a comparação dos limites fisiográficos da bacia hidrográfica, bem como as redes de drenagem modeladas, utilizando-se o Modelo Digital de Superfície - MDS SRTM e bacia hidrográfica da ANA comparando-as com as Cartas do Diretoria de Serviço Geográfico - DSG juntamente com a fotointerpretação obtida a partir de imagem Landsat 8 e curvas de nível geradas a partir do MDS.

A partir do estabelecimento dos pontos críticos (maciços florestais, estruturas antrópicas, entre outros) com auxílio de fotointerpretação e documentos oficiais, realizou-se visitas *in loco* para levantamento planialtimétrico utilizando-se DGPS HiPer GGD, equipamento constituído de receptor base (fixado por cinco horas e meia na região de levantamento) e outro receptor para obtenção de pontos estáticos ao longo das áreas consideradas críticas, no qual os dados obtidos foram utilizados para retificação das curvas de nível provenientes do MDS SRTM.

Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados

O processo da delimitação automática, para o MDS SRTM e para o MDE, foi efetuado através do uso do pacote de algoritmos *GRASS*, instalado no *software* livre e gratuito QGIS v. 2.18.13 (QGIS Development Team, 2017). As rotinas executadas para modelagem hidrológica consistiram na elaboração dos segmentos de fluxo, direções de drenagem por meio do algoritmo *watershed*, em que se utilizando o número de convergência de pixels igual a 1650 foi possível a geração dos modelos.

A área de influência da bacia, por meio de ponto exutório, foi obtida utilizando-se do algoritmo *water outlet*, que usa como *inputs* o modelo de direção de drenagem (*aspect*) e coordenadas geográficas do ponto de exutório. Após vetorialização do produto final obtido, permitiu-se o cálculo de área, perímetro e respectivos segmentos de fluxo da região em estudo.

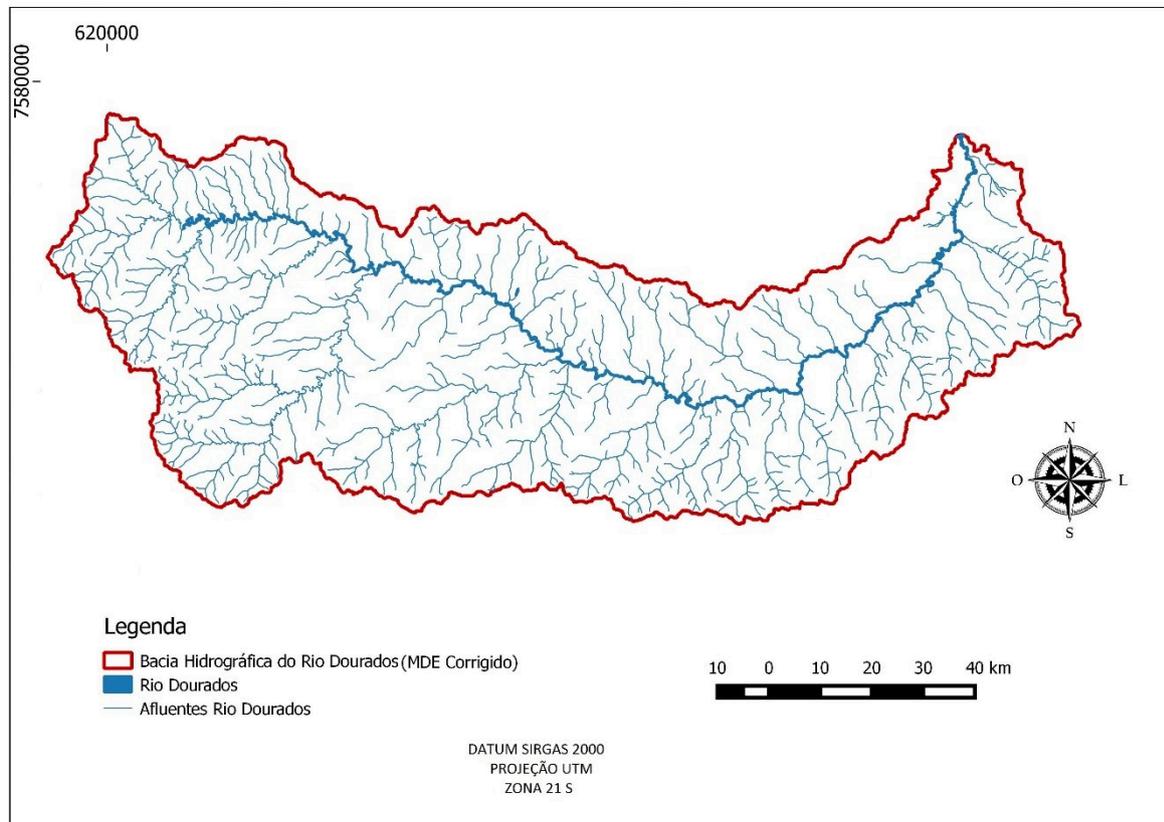
A Ottobacia do Rio Dourados foi adquirida em formato *shapefile* proveniente do *site online* da ANA, disponível em sua biblioteca de bacias hidrográficas de 5º nível que utiliza o método de Otto Pfaster (método da equidistância) e MDS SRTM 90 metros para o estabelecimento de seus limites fisiográficos (Silva et al., 2008).

Obtenção do MDE corrigido

A partir da delimitação automática da bacia hidrográfica observou-se que o MDS SRTM de resolução de 30 metros promoveu boa representação no que se refere à delimitação fisiográfica da bacia e redes de drenagem em grande parte da área em estudo ocupada por atividades agropastoris. No produto da modelagem utilizando-se do MDS e Ottobacia da ANA observaram-se incoerências na rede de drenagem obtida, bem como pequenas distorções nos limites fisiográficos em determinados locais considerados como críticos pelo presente estudo, como região da foz e regiões de pico próximas a maciços florestais e a artefatos antrópicos, como estradas, os quais apresentam dados de elevação anômalos (Teske, Giasson & Bagatini, 2014).

Obtidas as correções dos pontos de controle a campo - GCPs, foi realizada a correção altimétrica das curvas de nível do MDS SRTM nas regiões críticas mencionadas, sendo editados os valores de altimetrias e atribuídos os valores encontrados a campo. Na sequência foi obtido o Modelo Digital de Elevação - MDE por meio da geração de estrutura do tipo Grade Irregular Triangular - TIN que permite preservar as informações relacionadas às feições geomórficas da superfície em estudo, como cristas e vales (Felgueira, 1998). Por fim foi possível realizar uma nova delimitação da BHRD e uma modelagem da rede de drenagem mais acurada à base de cursos d'água vetorializado (Fig. 1).

Figura 1: Delimitação da BHRD e sua rede de drenagem utilizando-se de MDE Corrigido.



Fonte: DSG (1979a, b).

Equação Universal de Perdas de Solo

A Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) de Wischmeier e Smith (1978) é um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar, considerando seis fatores independentes através da equação:

$$A = R \times K \times (L \times S) C \times P \quad (1)$$

Onde:

A = perda média anual de solo por unidade de área (ton./ha ano);

R = erosividade da chuva;

K = erodibilidade do solo;

L = comprimento da vertente;

S = declividade da vertente;

C = uso e manejo do solo;

P = práticas conservacionistas.

Fator LxS - Topografia

O uso do fator LxS dentro da Equação de Perdas de Solo reflete o fato de que a erosão aumenta com o comprimento da inclinação (L) e o ângulo da inclinação (S) verificando a

vulnerabilidade de uma bacia à erosão hídrica determinada pelas características de relevo, tornando-se um importante instrumento de planejamento do uso das terras na bacia (Galdino & Weill, 2010).

Para a determinação deste fator foi utilizado o MDE com resolução espacial de 30 metros obtido através da correção altimétrica das curvas de nível do MDS *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (GLCF, 2017) nas regiões críticas, conforme descrito anteriormente. Assim o fator LxS pode ser adquirido através das seguintes equações:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m \quad (2)$$

$$S = 10,8 \cdot \text{sen } \theta + 0,03 \text{ se } \theta < 9\% \quad (3)$$

$$S = 16,8 \cdot \text{sen } \theta - 0,50 \text{ se } \theta \geq 9\% \quad (4)$$

Onde:

λ - comprimento da declividade;

θ - ângulo de inclinação da rampa;

m - expoente da variação comprimento-declividade, sendo calculado através da metodologia proposta por Foster, Meyer e Onstad (1977) através da seguinte expressão:

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad (5) \quad \beta = \frac{(\text{sen } \theta)}{[3 \cdot (\text{sen } \theta)0,8 + 0,56]} \quad (6)$$

Sendo: β a razão empírica entre a erosão por sulco (causada pelo fluxo) e a erosão entre sulcos (causada principalmente pelo impacto das gotas de chuva) (McCool et al., 1989).

A partir da inserção do Modelo Digital de Elevação Corrigido (MDE Corrigido) da BHRD no *software* QGIS v. 2.18.13. Foram utilizadas as ferramentas *Slope, aspect, curvature* do complemento SAGA GIS para obter-se o mapa correspondente ao ângulo de inclinação (θ) através do método de polinômios de terceira ordem, conforme Haralick (1983). Posteriormente, com a ferramenta Calculadora *Raster* obteve-se o mapa do fator β por meio da equação (6) para posterior cálculo do fator m através da mesma ferramenta com a equação (5).

O fator λ - comprimento da declividade – foi obtido por meio da ferramenta *slope lenght* do complemento SAGA GIS para subsequente cálculo do Fator através da equação (2).

O fator S foi calculado utilizando-se as equações (3) e (4) na ferramenta Calculadora *Raster* por meio de operadores de condicionais. Por último, foram multiplicados os mapas dos fatores L e S , e assim obteve-se o mapa do Fator Topográfico da bacia hidrográfica – LS.

Fator R – Erosividade da Chuva

Para a obtenção do fator R foram utilizadas linhas de isoietas de médias mensais e média anual de dados históricos entre 1977 e 2006 disponibilizadas no formato ESRI *Shapefile* (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 1997) através do portal CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), procedimento este adotado também por Ruthes et al. (2013).

Após carregados os arquivos de isoietas em QGIS v. 2.18.13, juntamente com o arquivo *Shapefile* corrigido da BHRD, com o uso do complemento *Digitizing Tools* foi particionada a bacia conforme as linhas de isoietas cruzassem o perímetro da bacia. Após esta etapa foi realizado a edição da tabela de atributos criando o campo de pluviometria e inserindo os valores correspondentes de cada isoietas a cada feição correspondente, sendo gerado um total de 13 arquivos do tipo *shapefile* (doze médias mensais e um média anual). Foi realizada a rasterização destes arquivos com resolução de 30 m para apuração do Fator R conforme as equações (7) e (8) através da ferramenta Calculadora *Raster*, resultando em carta do Fator R.

O fator R foi obtido através da equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2008), expressada da seguinte forma:

$$EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85} \quad (7)$$

Onde:

EI= média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h;

r= precipitação média mensal em mm;

P= precipitação média anual em mm.

A média de soma dos valores mensais de EI é o fator R da USLE, ou seja:

$$R = \sum EI/12 \quad (8)$$

Sendo:

R = erosividade da chuva em MJ.mm/ha.h;

EI= média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h.

Fator K - Erodibilidade do Solo

Para obtenção deste fator houve necessidade do cruzamento do *Mapa de Solos de Mato Grosso do Sul*, disponibilizado pelo Instituto do Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) com o *Mapa Pedológico* (folha SF-XXI) disponibilizado pelo portal de geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015) também em escala 1:250.000 ambos em formato ESRI *Shapefile* (ESRI, 1997). Ambos foram inseridos no *software* QGIS v. 2.18.13 e recortado de acordo com o limite da bacia hidrográfica de estudo.

Foram realizadas visitas *in loco* para checagem da pedologia presente na bacia hidrográfica em estudo, comparada aos apresentados pela carta do IMASUL e carta do IBGE. Por abertura de trincheiras e verificação dos perfis dos solos em pontos circunscritos aos limites fisiográficos da referente bacia hidrográfica foi verificada a validação das classes de Neossolo Quartzarênico Órtico, Latossolo Vermelho Eutroférico, Argissolo Vermelho Eutrófico e Argissolo Vermelho Distrófico para a carta disponibilizada pelo IMASUL, com necessidade de adição da camada Gleissolo Háptico verificada na carta disponibilizada pelo IBGE.

A nomenclatura da classificação dos solos foi atualizada de acordo com o *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2013), sendo os valores de K inseridos em um novo campo na tabela de atributos do arquivo *shapefile* resultantes do cruzamento das cartas de solos (Quadro 1).

Quadro 1: Valores do coeficiente K para as diferentes classes de solo com suas respectivas referências bibliográficas.

Classificação do solo (Embrapa 2013)	Fator K (ton.ha.h/ha. MJ mm)	Literatura Consultada
Neossolo Quartzarenico Órtico	0,0886	EMBRAPA (2009)
Latossolo Vermelho Eutroférico	0,0131	Lima et al. (2016)
Argissolo Vermelho Eutrófico	0,0529	Lima et al. (2016)
Argissolo Vermelho Distrófico	0,0537	Lima et al. (2016)
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico	0,0387	EMBRAPA (2009)

Conforme valores de K adotados para cada classe de solo foi possível verificar de modo qualitativo a potencial perda de solo por erodibilidade, conforme a Tabela 1, proposta por Manningel, Carvalho e Medeiros (2002).

Tabela 1: Classificação da erodibilidade dos solos (Fator K), conforme Manningel et al. (2002).

Classificação	K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Extremamente Alta	>0,0600
Muito Alta	0,0450-0,0600
Alta	0,0300-0,0450
Média	0,0150-0,0300
Baixa	0,0090-0,0150
Muito Baixa	<0,0090

Fator CxP – Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas

O fator de uso e manejo do solo (Fator C) consiste em sua susceptibilidade à erosão relacionada ao seu uso, desuso e manejo enquanto que o fator de Práticas Conservacionistas (Fator P) está ligado à mitigação ou eliminação da perda de solos com a adoção de práticas conservacionistas como terraceamento, plantio em nível entre outras práticas (Bertoni & Lombardi Neto, 2008).

O uso e cálculo destes fatores de modo individual, normalmente é utilizado objetivando a busca por métodos mais adequadas de produção atenuando os impactos gerados pelo uso agrícola, porém como este estudo pretende avaliar a perda de solo por erosão, os fatores C e P estão correlacionados de tal maneira, que é lícito o seu uso de modo integrado (Stein et al., 1987).

Durante a determinação do fator CP foi gerada a carta de uso e ocupação do solo, utilizando o software QGIS v. 2.18.13, por meio do complemento *Semi-automatic Classification*

Plugin (SCP) e imagens da área de estudo mosaicadas, provenientes do satélite Landsat 8 TM (USGS, 2017) órbita-ponto 224/75, 224/76, 225/75 e 225/76, com data de passagem de 24 de abril de 2017 de maneira a minimizar falso-positivos para áreas de solo exposto devido ao vazio sanitário para cultura de soja entre 15 de junho e 15 de setembro (Resolução n. 648/2017), além de que o cultivo de milho durante o período imageado apresenta eficiente detecção de áreas destinadas à agricultura (Loveland et al., 1991).

Para a categorização do uso e ocupação do solo foram determinadas quatro classes: Florestas e áreas seminaturais, Solo Exposto, Áreas agrícolas, Áreas úmidas e corpos hídricos e por fim Áreas artificiais (Coordination of Information on the Environment [CORINE] Adaptado, 1992) conforme proposto por Heymann et al. (1994). Foi criado um arquivo de “treinamento” do complemento SCP distinguindo as classes definidas, através da ferramenta ROI (*Region of Interest*) que seleciona através da assinatura espectral, uma região em torno de um pixel selecionado no mosaico Landsat 8 TM com configuração falsa-cor de bandas 5, 4 e 3 para os canais R, G e B respectivamente, sendo possível a discriminação das diferentes classes de uso.

Após a realização do treinamento para o complemento SCP é realizada a classificação do uso e ocupação do solo através do cruzamento de informações obtidas com pontos de controle realizados a campo em período aproximado das imagens para cada classe pré-determinada e da assinatura espectral da imagem em conjunto com o algoritmo *spectral angle mapping*. Este método de determinação da semelhança espectral entre dois espectros calculando o ângulo entre os espectros e tratando-os como vetores em um espaço com dimensionalidade igual ao número de bandas sendo relativamente insensível à iluminação e aos efeitos do albedo promove um melhor resultado na determinação das classes (Petropoulos et al., 2010).

Em cada classe estabelecida de uso e cobertura do solo foi determinado um valor de CP (Tab. 2), de acordo com aqueles sugeridos por Stein et al. (1987) e Oliveira et al. (2012), no qual foi gerado o mapa do Fator CP em formato *raster*.

Tabela 2: Valores do Fator CP para cada classe de uso do solo.

Classes	Fator CP
Florestas e áreas seminaturais	0,0007
Solo Exposto	1
Áreas agrícolas	0,25
Áreas úmidas e corpos hídricos	0
Áreas artificiais	0

Fator A - Integração dos Fatores

Com todos os fatores da Equação Universal de Perda de Solo calculados as cartas construídas, foi realizada a integração dos mesmos utilizando-se a ferramenta Calculadora

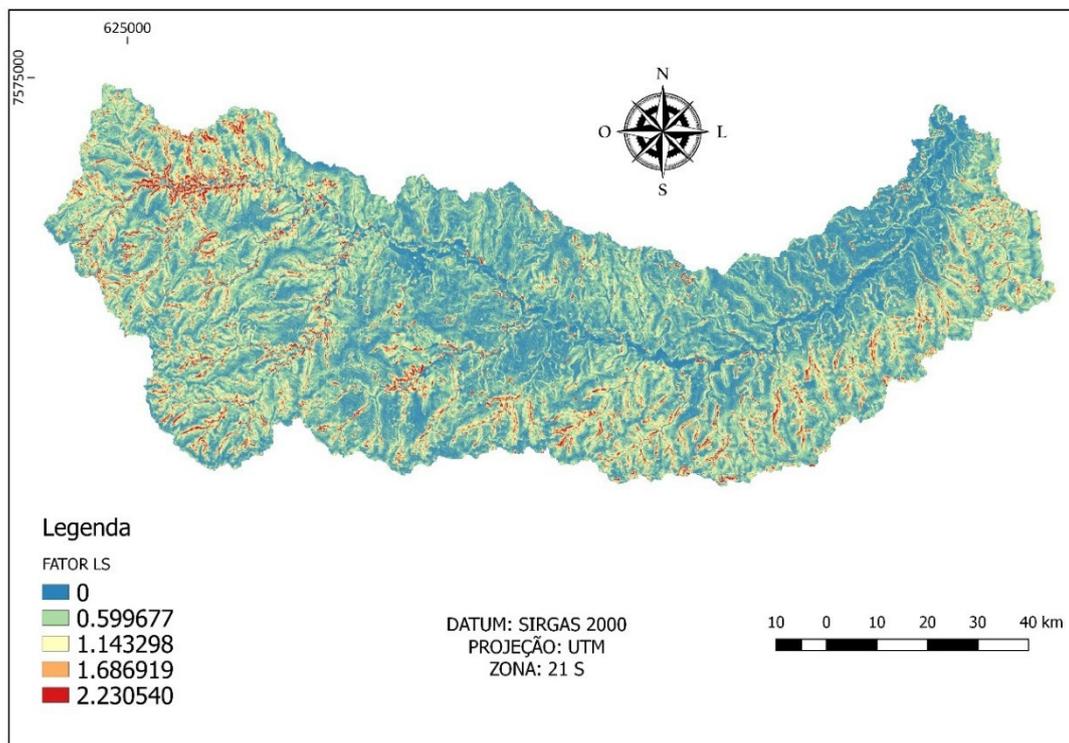
raster disponível no *software* QGIS v. 2.18.13. Por meio dele foi elaborada a carta de perda média anual de solo por unidade de área (ton./ha.ano) da BHRD.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fator LxS - Topografia

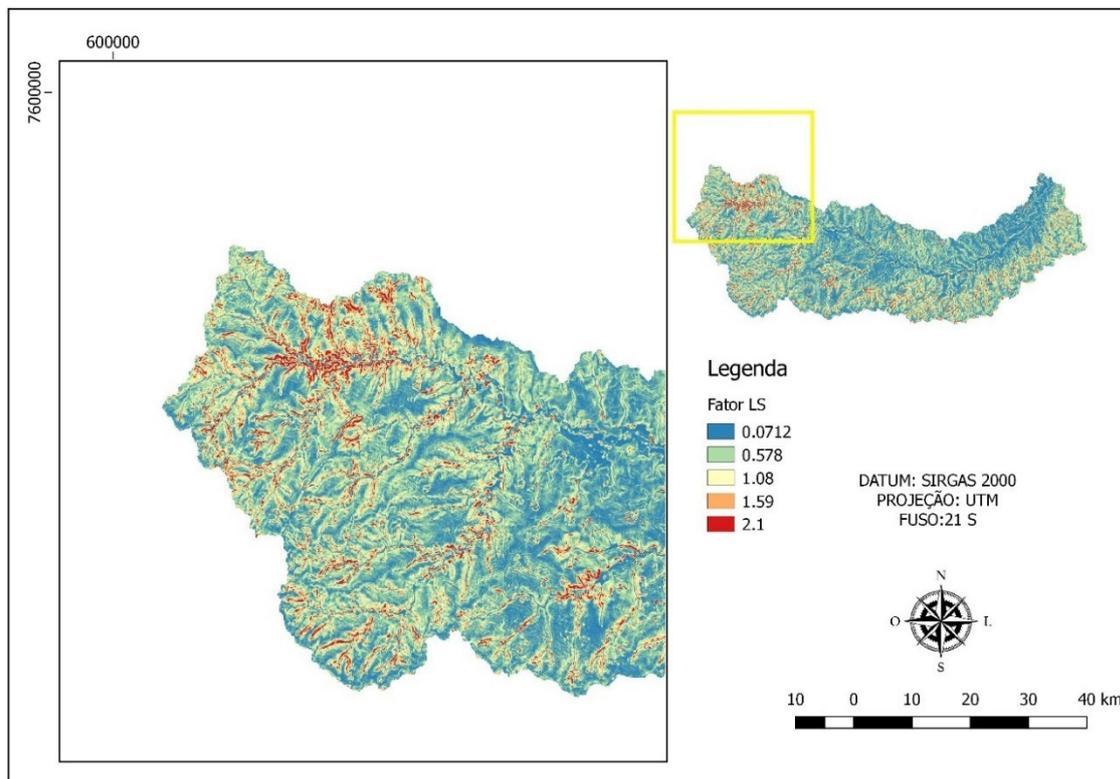
A partir do fator LS (Fig. 2) foi possível avaliar o potencial topográfico de erosão hídrica laminar, no qual a área do referente estudo apresentou valores entre 0,0 a 2,23, com predominância na variação entre 0 e 0,60. Desta forma, observa-se que a BHRD algumas áreas com taxas significativas de escoamento superficial, destacando-se como áreas de grande potencial de erosão hídrica laminar frente ao uso e ocupação das mesmas, principalmente em áreas de solo desnudo. Nota-se grande área com baixas taxas de escoamento superficial (0 a 0,6), que desfavorece o processo de erosão hídrica laminar na BHRD (Barbosa et al., 2015).

Figura 2: Carta do Fator LxS (topografia) da BHRD.



Entretanto, na região noroeste da referente bacia é observado o maior número de áreas que apresentam os maiores valores relacionados ao fator LS, onde estão presentes grande parte das nascentes da calha central (rio Dourados), demonstram média de valores em torno de 2,1 na cabeceira do Curso d'água, tornando-se um local de grande potencial erosivo frente a suas características topográficas (Fig. 3).

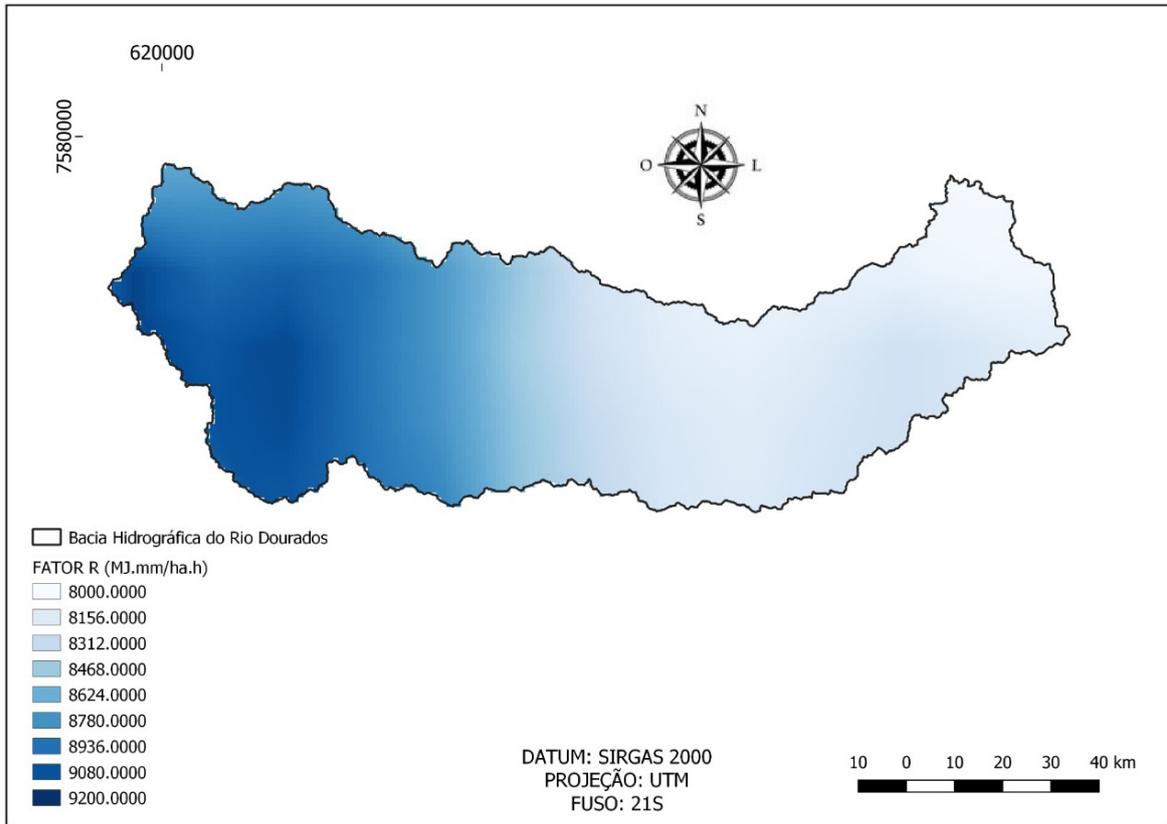
Figura 3: Região noroeste da bacia hidrográfica com grande parte dos maiores valores de Fator Topográfico (LxS).



Fator R - Erosividade da Chuva

Observa-se valores heterogêneos ao longo da bacia hidrográfica que variam entre 8000 Mj.mm/ha.h a 9000 Mj.mm/ha.h (Fig. 4), sendo este fator relacionado com as características pluviométricas da região de estudo. Estes dados relacionam o impacto que o mesmo provoca sobre a superfície, no qual dependendo do tipo de cobertura existente, a energia potencial é dissipada até alcançar a superfície, diminuindo desta forma o selamento do solo e redução de energia cinética que promove erosão hídrica laminar (Hudson, 1971).

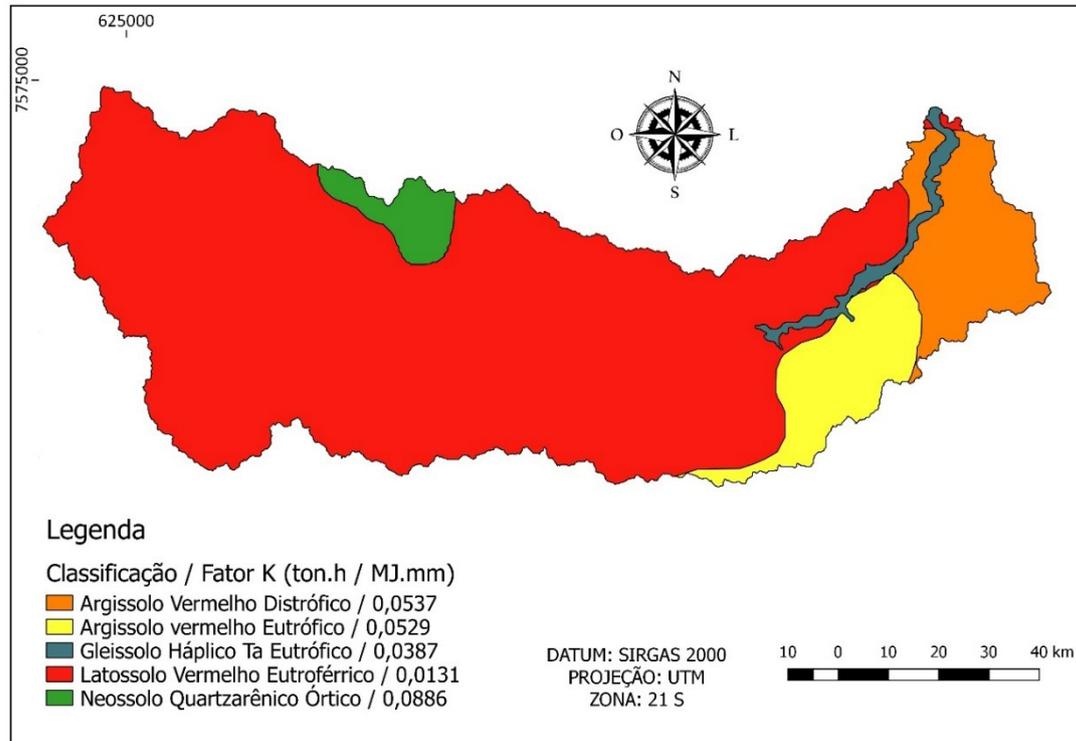
Figura 4: Carta do Fator R (Erosividade da chuva).



Fator K - Erodibilidade do Solo

Observa-se que a maior área da bacia hidrográfica é composta pelas classes de Latossolos Vermelho Eutrófico (79,8%). Outras parcelas apresentam-se classificadas como Neossolo Quartzarênico Órtico (2,7%), Argissolo Vermelho Eutrófico (7,1%), Argissolo Vermelho Distrófico (8,8%) e Gleissolo Háptico Ta Eutrófico (1,6%) conforme observado na Figura 5 e verificado em campo através de pontos de observação para cada classe (Fig. 6).

Figura 5: Fator K - Carta de solos da BHRD.



As regiões com maiores valores de fator LS (topografia), em sua maioria, apresentam Latossolo Vermelho Eutrófico como classificação pedológica, em que Paranhos Filho (2000) afirma que apesar de apresentarem boa resistência à erosão, devido às boas características físicas (menor fator de erosividade dentro os solos encontrados na Bacia), requerem tratamentos conservacionistas adequados conforme a inclinação do terreno e o tipo de uso do solo.

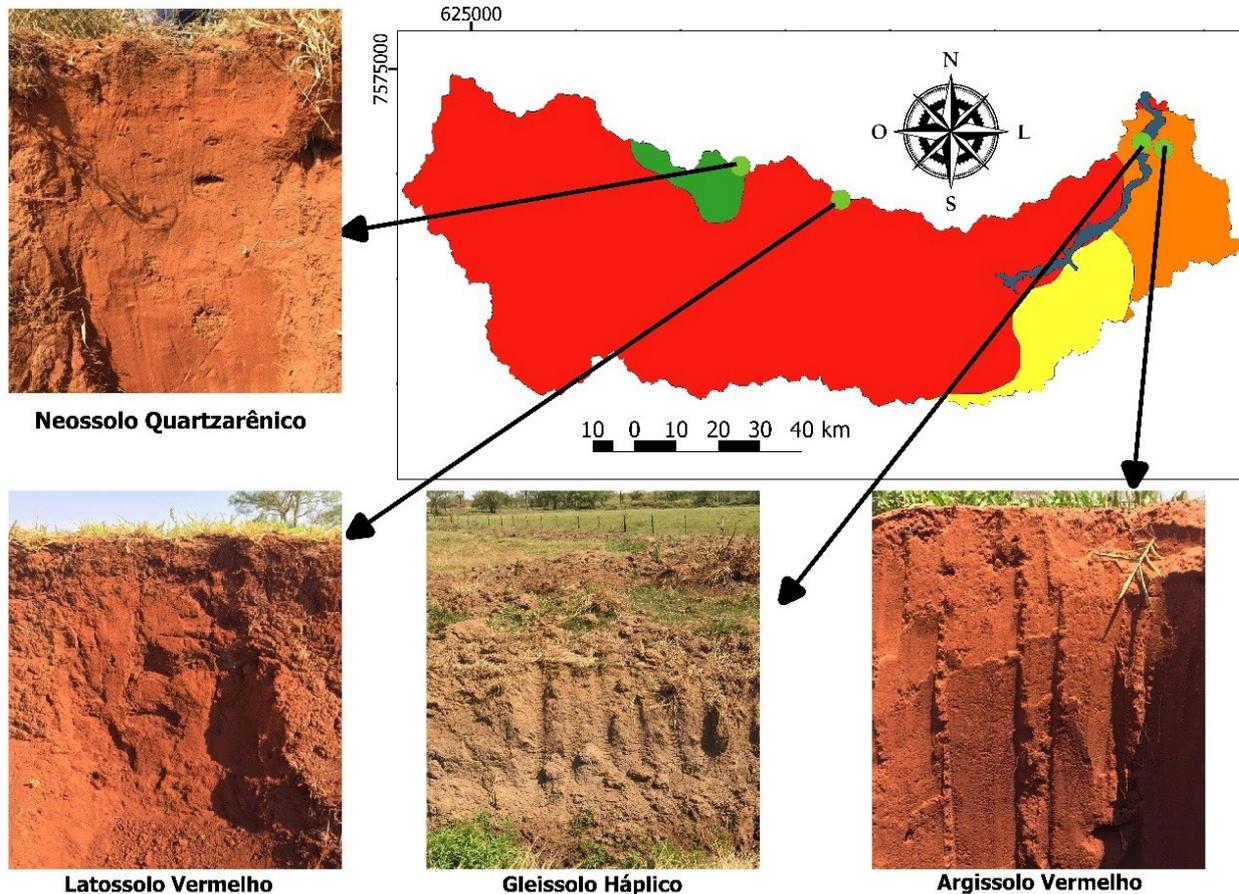
Na BHRD, o Neossolo Quartzarênico Órtico é apresentado com baixa percentagem (2,7 %) em área frente ao Latossolo e aos Argissolos. Porém, conforme Manzatto (2002), os Neossolos Quartzarênicos são propícios à erosão hídrica vista a fraca interação entre os seus agregados e consequentemente estruturação, sendo susceptíveis a erosão laminar e geração de ravinas e voçorocas por ser um solo de características frágeis.

Os Argissolos Vermelhos possuem uma tendência à suscetibilidade a processos erosivos dependendo diretamente da relação textural existente no mesmo, podendo ser bastante susceptíveis (textura arenosa a média), presentes na região de foz da bacia hidrográfica em questão.

Gleissolos Hápticos são solos hidromórficos, localizados basicamente nos locais de baixada próximos aos canais de fluxo hídrico, sendo diretamente influenciados por partículas provenientes de solos localizados em regiões mais altas, estando presente próximo a foz da calha central (rio Dourados) da BHRD. Possuem como fatores limitantes a existência de lençol freático elevado, no qual apresentam problemas frente a sua drenagem ocasionados pelas suas características texturais do local (Manzatto, 2002).

Manningel, Carvalho e Medeiros (2002) propõem uma classificação frente à erodibilidade dos diferentes tipos do solo (Tab. 3). Observa-se que a BHRD apresenta, em sua maioria, classificada como baixa, entretanto, destacam-se regiões com solos que apresentam classificação alta (Gleissolo Háptico Ta Eutrófico), muito alta (Argissolo Vermelho Distrófico e Argissolo Vermelho Eutrófico) e extremamente alta (Neossolo Quartzarênico Órtico), e esta classificação juntamente ao uso e ocupação do solo, manejos conservacionistas, características topográficas e erosividade pluvial tornam-se cruciais para tomadas de decisão frente à recuperação de áreas prioritárias a partir da integração dos fatores (Fator A).

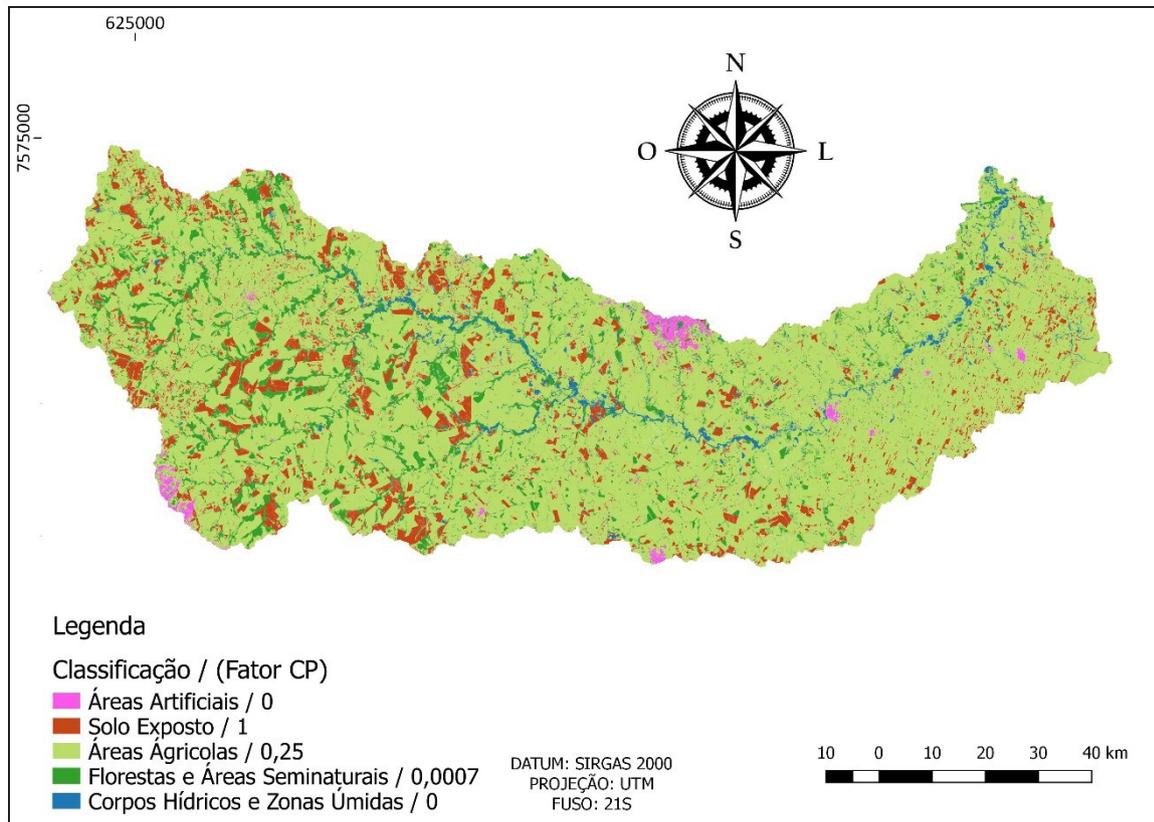
Figura 6: Respectivas classes de solos avaliadas *in loco* da BHRD.



Fato CxP - Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas

O mapa de uso e ocupação do solo e da integração deste com os valores de CP propostos por Stein et al. (1987) e Oliveira et al. (2012) são apresentados na Figura 7. Observando-se os valores de CP, e desconsiderando as áreas úmidas e áreas artificiais onde o valor é zero, observa-se que as regiões onde a vegetação se mostra mais densa apresentam menores valores do Fator CP.

Figura 7: Carta de uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas da BHRD (Fator CP).



A BHRD é constituída de 76,1% de atividades agrossilvipastoris, ocorrendo rotação de culturas como milho, soja, cana-de-açúcar além de criação bovina e silvicultura (Tab. 3). Observou-se quantidade significativa de solo desnudo na área em estudo (12,5%), apresentando o maior potencial a erosão hídrica laminar frente à exposição da superfície do solo a chuva, acarretando muitas vezes a desestruturação e selamento deste recurso natural, no qual as características pedológicas e topográficas desvantajosas acarretam em grandes perdas de solo.

Tabela 3: Uso e ocupação do solo na BHRD.

Uso e Ocupação do Solo (adap. de CORINE, 1992)	Área (Km ²)	Porcentagem (%)
Áreas artificiais	89,3	1,1
Solo Desnudo	1.158,3	12,5
Corpos hídricos e zonas úmidas	198,9	2,1
Florestas e áreas seminaturais	761,1	8,2
Áreas agrícolas	7.032,2	76,1
TOTAL	9.239,8	100

As áreas de cobertura vegetal natural foram suprimidas para as atividades de agronegócio, no qual por legislação, as propriedades rurais que apresentam mais que 4

módulos rurais são obrigadas a constituir área de proteção permanente (APP) e reserva legal, totalizando 20% da propriedade em questão.

O grande problema relaciona-se a propriedades com até 4 módulos rurais que suprimiram sua reserva antes de 2008, que são obrigadas a apenas constituir APP (dependendo da largura do corpo hídrico vizinho), sendo anistiados da supressão anteriormente realizada (Brasil, 2012). Com isso, reduziu-se significativamente a quantidade de área vegetal natural em locais que são constituídos em sua maioria por pequenas propriedades, constituídas com valores de CxP maiores que áreas naturais, acarretando em maior susceptibilidade a erosão hídrica, considerando os outros fatores que integram a estimativa.

Integração dos Fatores

A partir da álgebra de mapas obteve-se a carta de perda do solo em toneladas por hectare ano – Fator A (Fig. 8). Nota-se que 46,2 % da BHRD apresenta perda de solo menor que 10 ton/ha.ano (Tab. 4), no qual este valor está diretamente relacionado principalmente a pedologia, características de uso e ocupação e topografia.

Figura 8: Carta de Integração dos fatores da equação USLE (Fator A – Perda de solo anual).

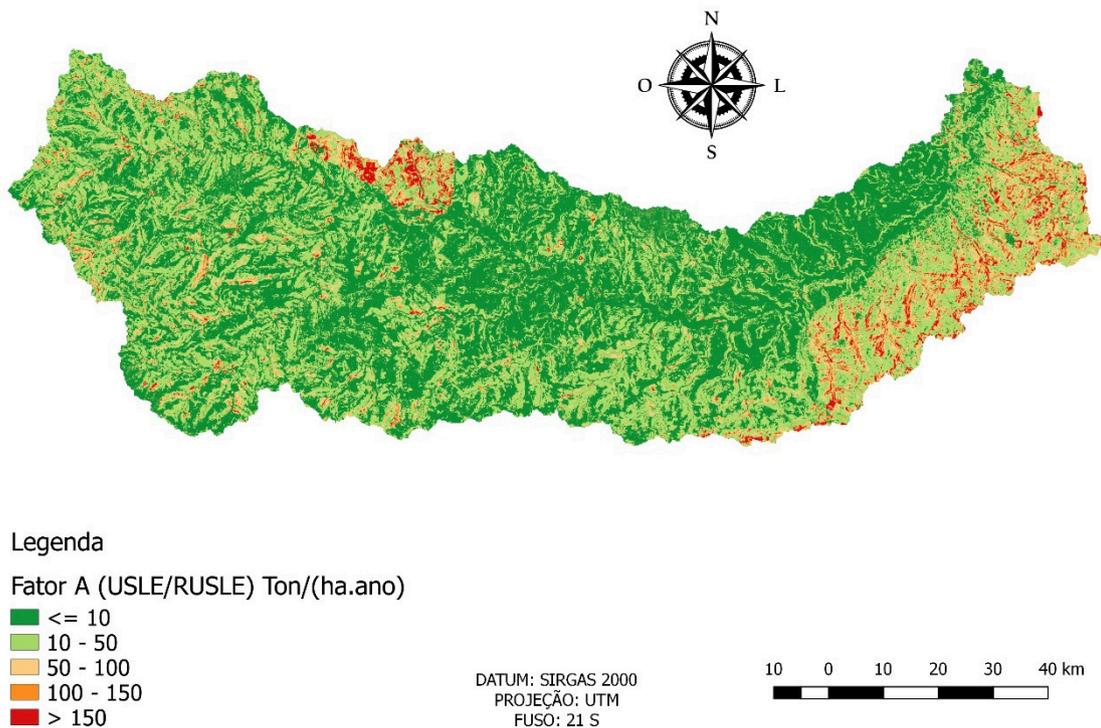


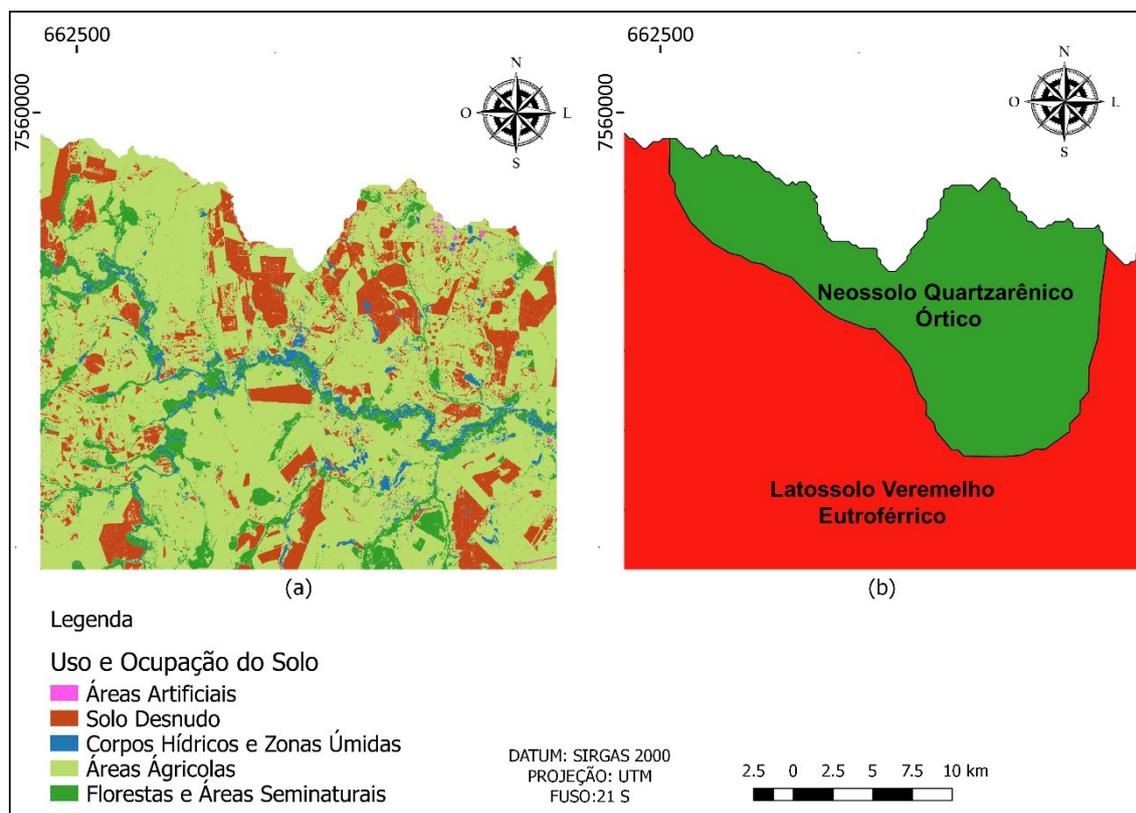
Tabela 4: Perda de Solo Anual por faixa de valores.

Perda de solo (ton./ ha.ano)	Área (Km ²)	Porcentagem (%)
<= 10	4.266,4	46,2
10 - 50	3.729,2	40,4
50-100	779,1	8,4
100-150	246,6	2,7
>150	218,3	2,4
TOTAL	9.239,8	100

As regiões que apresentam maior densidade de dossel natural possuem melhores condições de proteção frente aos processos erosivos, principalmente por reduzir significativamente a velocidade resultante provinda da energia potencial das gotas de chuva sobre a superfície, evitando desta forma os efeitos de salpicamento e selamento do solo, fenômenos estes que potencializam o processo de erosão hídrica laminar.

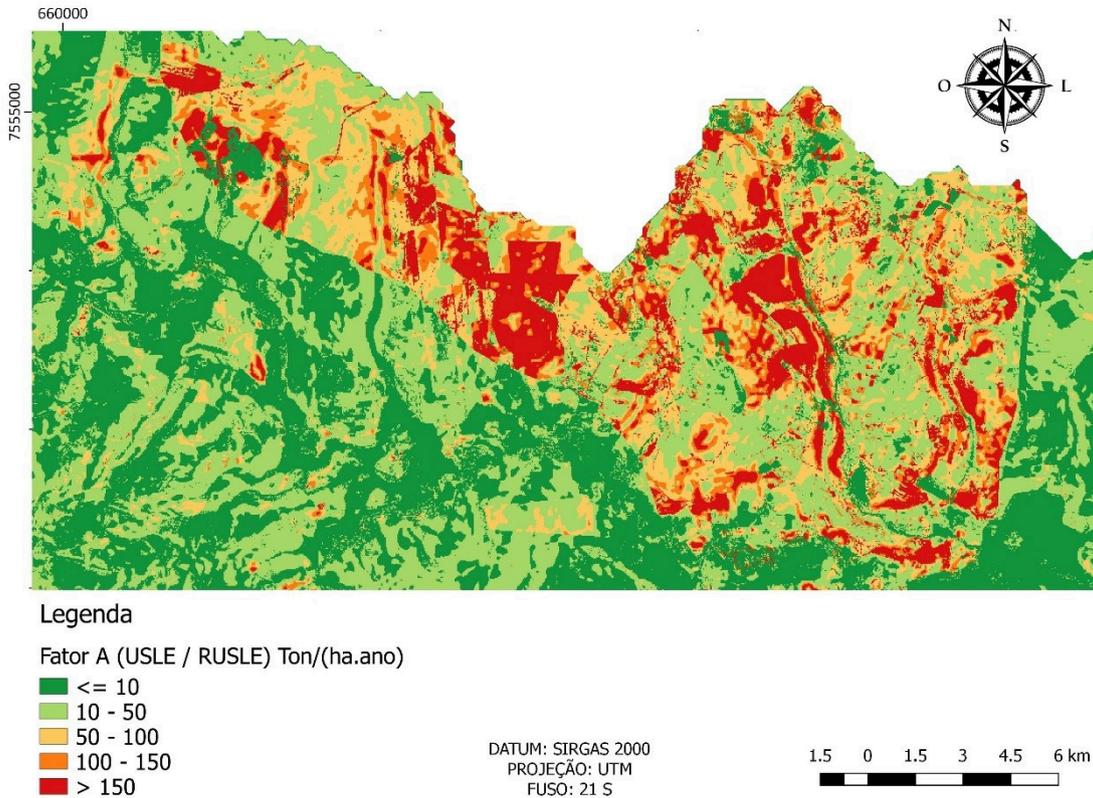
As regiões de solo exposto apresentam uma maior susceptibilidade a erosão por conta da ausência de proteção frente à energia potencial e energia cinética da água proveniente de chuvas, apresentando maiores valores do Fato CP, sendo que neste caso, grande parte do solo exposto estava presente em áreas de Neossolo Quartzarênico Órtico, sendo um solo incoeso e com alto fator de erodibilidade (0,0886 ton.ha.h/ha. MJ mm), apresentando os maiores valores de perda de solo anual (>150 ton/ha.ano) (Figs. 9 e 10).

Figura 9: Comparação entre os Fatores CxP e a classificação dos solos da região.



Fonte: EMBRAPA (2013).

Figura 10: Fator A Perda de Solo Anual - região Noroeste da BHRD.



Na região sudeste da BHRD observou-se próximo a foz altos valores de perda de solo anual (>150 ton/ha.ano) (Figura 12), que pode estar relacionado ao uso e ocupação do solo (solo exposto e pequenas propriedades com ausência de vegetação natural) juntamente com a presença de solos com erodibilidade classificada como muito alta (Manningel, Carvalho & Medeiros, 2002) e fator topográfico maior do que a predominância existente na bacia em estudo (Fig. 11).

Em áreas com predominância de solos agrícolas ainda cabe ressaltar, conforme observado por Panachuki et al. (2011), que a capacidade de erosão está diretamente associada ao manejo de solos onde nota-se que a perda de solos é inversamente proporcional ao residual de cobertura vegetal. Para tais regiões é propícia a instalação de pontos de monitoramento com chuva simulada para uma determinação mais aferida e de caráter quantitativo relacionado à susceptibilidade do solo à erosão.

Por meio da fotointerpretação, a região sudeste da BHRD apresentou baixa presença de áreas de vegetação natural, em conjunto com a presença de pequenas propriedades rurais, muitas destas demarcadas no período de governo de Getúlio Vargas com a criação da Colônia Agrícola Nacional de Dourados - CAND (Silva, 2016).

Figura 11: Fator CxP em comparação com Fator topográfico LS na região Sudeste da BHRD.

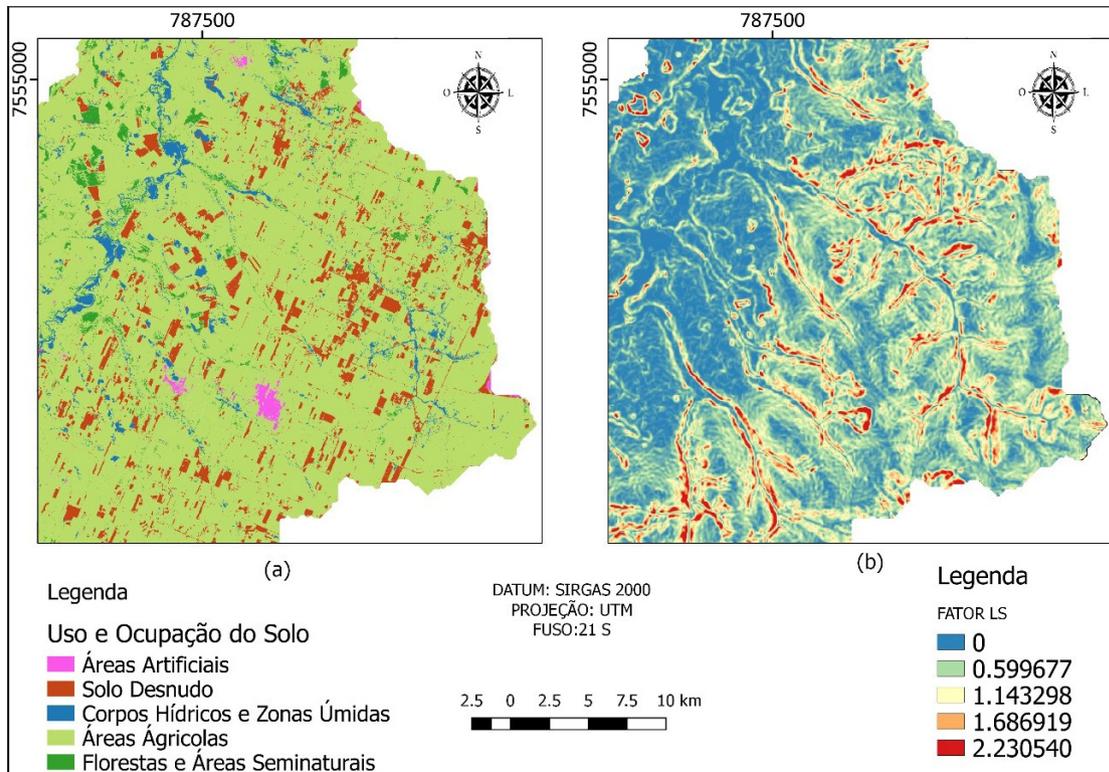
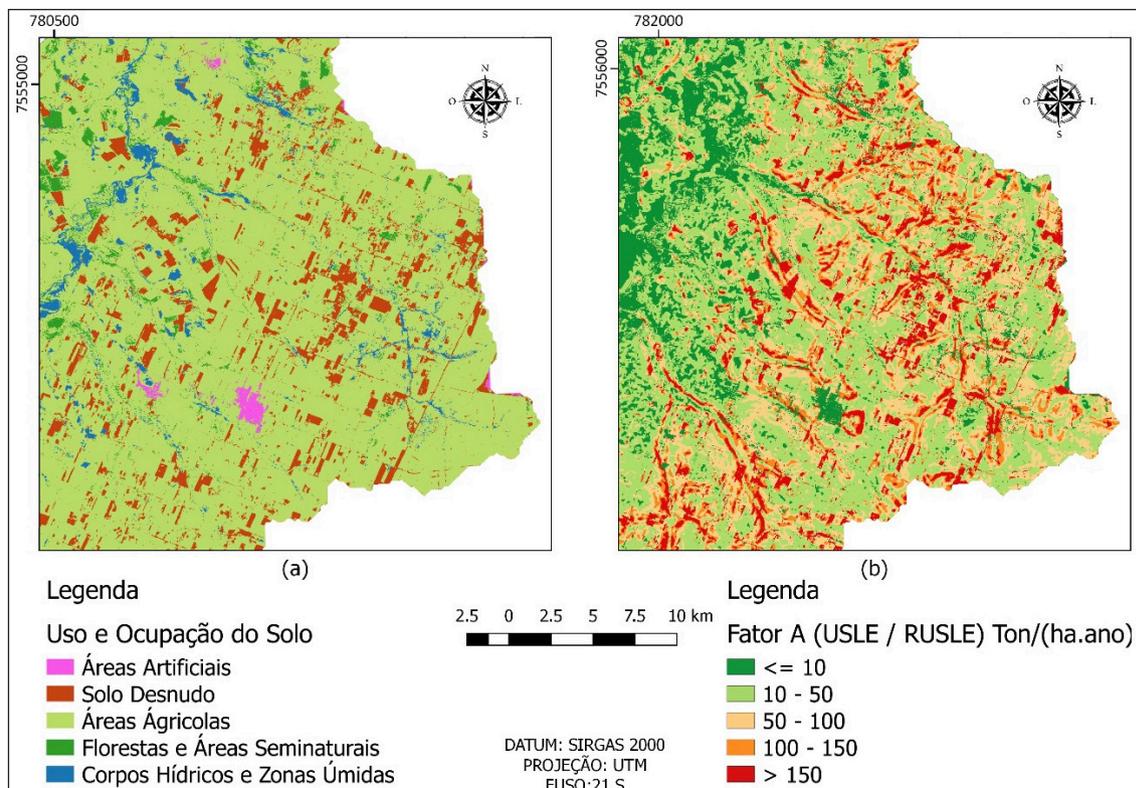


Figura 12: Comparação da Carta do Fator CxP com a carta do Fator A (perda anual de solo) na região Sudeste da BHRD.



Em decorrência das fontes de dados ambientais utilizados serem de média resolução espacial, e as limitações de um modelo matemático como a USLE, os valores obtidos não devem ser observados sob a ótica quantitativa, mas sim para análises qualitativas quanto às áreas potencialmente erodíveis e prioritárias da bacia hidrográfica em estudo (Stein et al., 1987).

CONCLUSÃO

As regiões Sudeste e Noroeste da BHRD apresentaram-se mais susceptíveis a perda de solo por erosão hídrica laminar frente as suas características geomorfológicas e ocupação antrópica, sendo regiões prioritárias para estudos quantitativos e ações de remediação.

O uso de dados SRTM 30 metros para obtenção de MDE e fator topográfico da USLE/RUSLE (fator LS) mostrou ser uma alternativa prática e viável, minimizando custos e tempo de execução dos trabalhos, observado as dificuldades encontradas no gerenciamento de extensas unidades territoriais.

O uso e ocupação do solo juntamente com o fator topográfico e pedologia tem grande importância no que se refere a perda de solo anual, no qual observa-se que regiões no qual a cobertura vegetal natural foi suprimida a tendência de perda de solo por erosão hídrica laminar é significativamente maior, frente a tendência de desestruturação das características naturais do solo.

A perda de solo anual da bacia é maior em solos com maior potencial erosivo (fator K) com características topográficas específicas (maiores declives) e condições de uso e ocupação de solo desfavoráveis, sendo necessário correto manejo frente a busca de mitigação de impactos ambientais negativos (alterações na qualidade físico-química de águas superficiais, assoreamento de corpos hídricos, alterações no comportamento hidrológico, dentre outros).

A estimativa de perda de solo anual da BHRD pode ser utilizada por órgãos públicos e privados para estabelecimento de áreas prioritárias para recuperação e de estudos mais aprofundados (análises quantitativas) visando proposições de manejos conservacionistas nestes locais, melhorias na qualidade das águas superficiais, bem como gerenciamento sustentável da bacia hidrográfica em questão.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas. (2017). *Classificação Bacias Hidrográfica 5º nível*. Recuperado de http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=47&fname=NIVEL_5.7z&access=private
- Barbosa, A.F., Oliveira, E.F., Mioto, C.L., & Paranhos Filho, A.C. (2015). The Application of the Universal Soil Loss Equation by Using Free and Available Softwares. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 38(1), 170-179. https://doi.org/10.11137/2015_1_170_179
- Bertoni, J., & Lombardi Neto, F. (2008). *Conservação do Solo* (6ª ed.). São Paulo: Ícone.
- Bloise, G.L.F., Carvalho, A.P.F., Martins, E.S., Reatto, A., & Carvalho Jr, O.A. (2001). *Avaliação da Suscetibilidade Natural à Erosão dos Solos da Bacia do Olaria-DF*. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento

- 14). Planaltina: Embrapa Cerrados. Recuperado de https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/16066/1/ARTIGO_AvaliacaoSuscetibilidadeNatural.pdf
- Borges, K.M.R. (2009). *Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos*. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade de Brasília, UnB, Brasília, DF, Brasil. Recuperado de https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/4117/1/2009_KellyMariaResendeBorges.pdf
- Carvalho, E.M., Pinto, S.A.F., Sepe, P.M., & Rossetti, L.A.F.G. (2010, julho). 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. *Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Informação*. 3, Recife, PE, Brasil.
- Coordination of Information on the Environment. (1992). *CORINE Land Cover*. Bruxelas: European Community.
- Correchel, V. (2003). *Avaliação de índices de erodibilidade do solo através de técnica da análise de redistribuição do "Fallout" do ¹³⁷Cs*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, CENA, Piracicaba, SP, Brasil. Recuperado de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64132/tde-13042004-111210/publico/Vladia.pdf>
- Diretoria de Serviço Geográfico (1979a). *Carta Dourados. Folha SF 21-Z-B-II*. (1:100.000). Dourados.
- Diretoria de Serviço Geográfico (1979b). *Carta Rio Brillhante. Folha SF 21-X-D-V*. (1:100.000). Rio Brillhante.
- Eduardo, E.N. (2012). *Determinação da Erodibilidade e do Fator Cobertura e Manejo do Solo Sob Condições de Chuva natural e Simulada*. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil. Recuperado de [http://www.ia.ufrjr.br/cpacs/arquivos/teses_dissert/312_\(ME-2012\)_Eliete_Nazare_Eduardo.pdf](http://www.ia.ufrjr.br/cpacs/arquivos/teses_dissert/312_(ME-2012)_Eliete_Nazare_Eduardo.pdf)
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). *Zoneamento Agroecológico do Município de Guia Lopes da Laguna – MS*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (3a ed.). Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI.
- Environmental Systems Research Institute (1997). (Versão 7.11) [Programa de computador]. Redlands.
- Felgueira, C.A. Modelagem Numérica de terreno. (1998). In G. Câmara, & J.S. Medeiros (Org.). *Geoprocessamento para projetos ambientais* (2a ed., Cap. 4, pp. 87-125). São José dos Campos: INPE. Recuperado de <http://www.deinf.ufma.br/~paiva/cursos/gis/book/GeoprocessamentoParaProjetosAmbientais.pdf>
- Foster, G. R., Meyer, L. D., & Onstad, C. A. (1977). A runoff erosivity factor and variable slope length exponent for soil loss estimates. *Transactions of the ASAE*, 20(4), 683-687. <https://doi.org/10.13031/2013.35628>
- Galdino, S., & Weill, M.A.M. (2010, outubro). Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari MS/MT. *Anais do Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*. Cáceres, MT, Brasil, 3. Recuperado de <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.07.13.01/doc/p0942.pdf>
- Global Land Cover Facility. (2000). *Catálogo SRTM 2000*. Órbita 224 ponto 75. Recuperado de <http://glcfapp.glcf.umd.edu:0800/esdi/index.jsp>
- Haralick, R.M. (1983). Ridge and valley detection on digital images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 22(1), 28-38. [https://doi.org/10.1016/0734-189x\(83\)90094-4](https://doi.org/10.1016/0734-189x(83)90094-4)
- Heymann, Y., Steenmans, C., Croissille, G., & Bossard, M. (1994). *CORINE land cover, technical guide*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Hudson, N.W. (1971). *Soil conservation* (2a ed.). Ithaca: Cornell University.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). Recuperado de <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/.htm>
- Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e

- altera o art. 1º da Lei 8.001 de 13 de março de 1.990, que modificou a Lei nº 7.990 de 28 de dezembro de 1.989. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm
- Lima, C.G R., Carvalho, M.P., Souza, A., Costa, N.R., & Montanari, R. (2016). Influência de Atributos Químicos na Erodibilidade e Tolerância de Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Baixo São José dos Dourados. *Revista Geociências*, 35(1), 63-76. Recuperado de <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/8996>
- Lopes, F.B., Andrade, E.M., Teixeira, A.D., Caitano, R.F., & Chaves, L.C.G. (2011). Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em micro bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Agro@mbienteOnline*, 5(2), 88-96. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.503>
- Loveland, T., Merchant, J., Brown, J., & Ohlen, D. (1991). Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U. S. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 57(11), 1453-1463. Recuperado de <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70014989>
- Manningel, A.R., Carvalho, M.P., & Medeiros, D.M.L.R. (2002). Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, 24(5), 1335-1340. <https://doi.org/10.4025/actasciagr.v24i0.2374>
- McCool, D.K., Foster, G.R., Mutchler, C.K., & Meyer, L.D. (1989). Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 32(5), 1571-1576. <https://doi.org/10.13031/2013.31192>
- Merten, G.H., Caviglione, J H., Ciacomini, D.C., Rufino, R.L., Medeiros, G., Saintraint, D., ..., & Kessler, C.A. (1995). *El uso del SIG del modelo USLE para determinar mapas de erosion potencial y actual em las microcuencas pilotos de Água Grande y Córrego do Pensamento, Mamborê, Paraná, Brasil* (v.6). Santiago: FAO.
- Manzatto, C. (2002). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa.
- Oliveira, P.T.S., Rodrigues, D.B.B., Alves Sobrinho, T., Carvalho, D.F., & Panachuki, E. (2012). Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Revista Engenharia Agrícola*, 32(1), 69-79. <https://doi.org/10.1590/s0100-69162012000100008>
- Panachuki, E., Bertol, I., Alves Sobrinho, T., Oliveira, P.T.S., & Rodrigues, D.B.B. (2011). Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 35(5), 1777-1785. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000500032>
- Paranhos Filho, A.C. (2000). *Análise Geo-Ambiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho* (Tese de Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. Recuperado de <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/49495/T%20-%20ANTONIO%20CONCEICAO%20PARANHOS%20FILHO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paranhos Filho, A.C., Mioto, C.L., Marcato Jr, J., & Catalani, T.G.T. (2016). *Geotecnologias em Aplicações Ambientais*. Campo Grande: UFMS.
- Petropoulos, G.P., Vadrevu, K.P., Xanthopoulos, G., Karantounias, G., & Scholze, M. (2010). A Comparison of Spectral Angle Mapper and Artificial Neural Network Classifiers Combined with Landsat TM Imagery Analysis for Obtaining Burnt Area Mapping. *Sensors*, 10(3), 1967-1985. <https://doi.org/10.3390/s100301967>
- QGIS Development Team (2017). (Versão 2.18.13) [Programa de computador]. Beaverton: Open-Source Geospatial Foundation Project.
- Renard, K.G., Foster, G.R., & Weesies, G.A. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Washington DC: Government Printing Office. Recuperado de https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf
- Ruthes, J.M., Tomazoni, J.C., Guimarães, E., & Gomes, T.C. (2012). Uso de Sistema de Informação Geográfica na Determinação do Fator Topográfico da Bacia do Rio Catorze, Sudoeste do PR. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5, 1099-1199. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i5.232803>
- Resolução n. 648, de 15 de agosto de 2017. Estabelece os períodos de semeadura e do vazio sanitário vegetal para a cultura da soja, assim como dispõe sobre as excepcionalidades, a qual se refere as regras da Lei Estadual n. 3.333 de 21 de dezembro de 2006. Recuperado de http://www3.servicos.ms.gov.br/iagro_ged/pdf/2600_GED.pdf

Silva, N.S., Ribeiro, C.A.A.S., Barroso, W.R., Ribeiro, P.E.A., Soares, V.P., & Silva, E. (2008). Sistema de otocodificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. *Rev. Árvore*, 32(5), 891-897. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622008000500014>

Silva, W.G. (2016). A estratégia de integração do sul do estado de Mato Grosso ao território nacional durante o governo Vargas: uma análise a partir da criação da Colônia Agrícola Nacional de Dourados em 1943. *Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo*, 31, 26-42. <https://doi.org/10.11606/rdg.v31i0.102834>

Stein, D.P., Donzelli, P., Gimenez, A.F., Ponçano, W.L., & Lombardi Neto, F. (1987). Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema. *Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. Marília, SP, Brasil, 4.

Teske, R., Giasson, E., & Bagatini, T. (2014). Comparação do uso de modelos digitais de elevação em mapeamento digital de solos em Dois Irmãos, RS, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(5), 1367-1376. Recuperado de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000500002&lng=pt&tlng=pt. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500002>

United States Geological Survey (2017). *Earth Explorer*. Recuperado de <http://earthexplorer.usgs.gov>

Valeriano, M.M., Kuplich, T.M., Storino, M., Amaral, B.D., Mendes, J.N., Jr, & Lima, DJ. (2006). Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle RADAR topographic mission-90m data. *Computers & Geosciences*, 32(8), 1169-1181 <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.10.019>.

Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: U.S. Department of Agriculture. Recuperado de <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

Recebido em 06/abr./2021

Versão corrigida recebida em 29/03/2022

Aceito em 03/maio/2022

Publicado em 15/maio/2022