

RELEVO DE CHAPADAS NO NORTE DE MINAS GERAIS E SUA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO HÍDRICA

Relief of chapadas in the north of Minas Gerais and its susceptibility to water erosion

Mariley Gonçalves Borges

Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Goiás. Professora designada no Departamento de Geociências da UNIMONTESm, Brasil

marileigoncalvesborges@gmail.com

Hérick Lyncon Antunes Rodrigues

Doutorando em Geografia na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil

herick.lyncon.geo@gmail.com

Recebido: 06/05/2024

Aceito: 23/09/2024

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi apresentar as características dos relevos de chapadas das bacias hidrográficas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo no norte de Minas Gerais e mapear sua suscetibilidade à perda de solos por erosão hídrica. Justifica-se por subsidiar interpretações sobre a evolução das paisagens de chapada em áreas de Cerrado. A metodologia utilizada consistiu na análise da forma da vertente, na geração de perfis topográficos, Índice de Dissecação do Relevo e no mapeamento das áreas com potencial perda de solos por erosão hídrica, a partir da aplicação da Equação Universal à Perda de Solos (USLE). Os resultados demonstraram que a BHCC e a BHRB possuem relevos associados a Superfície Sul-Americana (chapadas de topo cimeira) e Superfície Sul-Americana I conservada e dissecada. O aspecto mais conservado da Superfície Sul-Americana I é dominante ao longo das bacias de estudo, em especial, no Catolé. Ambas as bacias apresentam, em sua maioria, relevos com fraco grau de dissecação, característicos das paisagens associadas a superfícies de aplanamento, com predomínio de baixas declividades e alta cobertura vegetal. A USLE apontou que a BHCC possui maior potencial à perda de solos, contudo são de localização bastante específica, restrita e não se reflete em maior perda de solo no contexto da bacia, em comparação com a BHRB, onde o valor médio de perda de solos foi maior. A evolução dos relevos parece se encontrar em estágio mais avançado na BHRB, o que indica a tendência natural do predomínio de relevos dissecados e maior transporte de sedimentos pela rede fluvial, devido a maior suscetibilidade à erosão.

Palavras-chave: Superfícies de Aplanamento, Bacias Hidrográficas, Índice de Dissecação, USLE.

Abstract

This research aimed to present the characteristics of the plateau reliefs in the Catolé stream and Borrachudo stream basins in the north of Minas Gerais and map their susceptibility to soil loss through water erosion. It is justified by supporting interpretations about the evolution of plateau landscapes in Cerrado areas. The methodology used consisted of analyzing the

shape of the slope, generating topographic profiles, using the Relief Dissection Index and mapping areas with potential soil loss due to water erosion based on the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The results demonstrated that the BHCC and BHRB have reliefs associated with the South American Surface (summit plateaus), preserved and dissected South American Surface I. The most preserved aspect of the South American Surface I is dominant throughout the study basins, especially in Catolé. Both basins present, for the most part, reliefs with a low degree of dissection, characteristic of landscapes associated with flattened surfaces, with a predominance of low slopes and high vegetation cover. The USLE pointed out that the BHCC has greater potential for soil loss. However, they have a very specific, restricted location. They are not reflected in greater soil loss in the basin context, compared to the BHRB, where the average soil loss value was bigger. The evolution of reliefs appears to be at a more advanced stage in the BHRB, which indicates the natural tendency for dissected reliefs to predominate and greater sediment transport through the river network due to greater susceptibility to erosion.

Keywords: Flattening Surfaces, Watersheds, Dissection Index, USLE.

1. INTRODUÇÃO

Em áreas do Cerrado são comuns geoformas do tipo Chapadas, em que os relevos são caracterizados por serem aproximadamente elevados e planos, compostos por baixas declividades e formações superficiais profundas, em sua maior parte. Em geral, podem possuir grandes extensões espaciais, ou então, compreender um conjunto de fragmentos (mesas) de menores dimensões (MARTINS; SALGADO, 2021).

Na literatura, a morfogênese das chapadas pode ser considerada poligenética (SALGADO, 2007). A ocorrência e a interação de processos verticais e horizontais, como a incisão dos vales fluviais e o recuo lateral das escarpas (MARTINS; SALGADO, 2021), parecem explicar a formação dessas geoformas, principalmente aquelas situadas na bacia do rio São Francisco. A partir do estabelecimento da rede de drenagem, os vales tendem a ter seus leitos escavados até atingir o nível de base. A formação de vales estreitos e profundos indica forte entalhamento, enquanto, vales largos e rasos refere-se a vales com fraco grau de entalhe (MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS; LAVARINI, 2020).

Ao atingir o nível de base, a erosão lateral passa a prevalecer, promovendo o alargamento dos vales e o recuo das escarpas, individualizando as chapadas (DUSZYŃSKI; MIGOŃ; STRZELECKI, 2019). No entanto, as chapadas são ambientes dinâmicos e, com o tempo, tendem a evoluir para relevos dissecados, devido ao seu desmantelamento por processos erosivos, intempéricos e gravitacionais. Quando cobertas por vegetação natural conservada e compostas por bordas capeadas por lateritos, as chapadas conseguem resistir a esses processos geomorfológicos, ocorrendo na paisagem em forma de remanescentes.

Remanescentes ainda preservados de grandes superfícies aplanadas podem ser encontradas no norte de Minas Gerais, em áreas do médio São Francisco, na qual as áreas deste estudo – bacias hidrográficas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo -, se encontram inseridas. Embora adjacentes, os relevos dessas duas bacias não parecem estar no mesmo estágio de evolução, o que ratifica a ideia de que “[...] um mesmo processo atuando em geoformas semelhantes, graças a pequenas diversidades nos materiais, pode dar gênese a paisagens díspares” (MARTINS; SALGADO, 2021, p. 241).

A evolução natural das superfícies de aplanamento ocorre pelo processo de aprofundamento dos vales, inicialmente em decorrência da incisão fluvial e, posteriormente, pela erosão remontante em função da elevação do gradiente por inclinação. Este processo faz com que, gradualmente, os vales rasos e hidromórficos se aprofundem, os fluxos hídricos se acelerem, o nível freático sofra rebaixamento e a paisagem se torne mais dissecada (LIMA; QUEIROZ NETO, 1996; MELO, 1992; 2008).

A evolução natural do relevo está associada com a ocorrência a processos ativos que modificam as formas de relevo ao longo do tempo (morfodinâmica), e que pode ser visualizada a partir da forma, declividade e extensão das vertentes, da morfometria de bacias e da modelagem à perda de solos por erosão hídrica. Sendo assim, essa pesquisa buscou apresentar as características dos relevos de chapadas das bacias hidrográficas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo no norte de Minas Gerais e mapear sua suscetibilidade à perda de solos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudos se refere às bacias hidrográficas do córrego Catolé (BHCC) e do riacho Borrachudo (BHRB), situadas sobre as Chapadas do Rio São Francisco, no norte de Minas Gerais (Figura 1). Essas bacias são afluentes da margem direita do rio Pandeiros e apresentam 712,17 km² e 483,17 km² de extensões territoriais, respectivamente.

A BHCC e a BHRB situam-se em um ambiente de domínio de veredas, que inclusive é responsável pelo abastecimento de grande parte dos canais do Pandeiros, importante afluente do Médio São Francisco (NEVES, 2011). A cobertura vegetal é de Cerrado, e este encontra-se em sua maioria em estado natural (BHCC - 91% e BHRB -86,5%).

As litologias são aproximadamente semelhantes, isto é, 84% na BHCC e 80% na BHRB correspondem a arenitos do Grupo Urucuia. Na parte central de ambas as bacias há

a exposição do Cráton São Francisco, denominado de Complexo Januária, composto por rochas do tipo gnaisses e granitoides associados, de aproximadamente 1.970 Ma (IGLESIAS; UHLEIN, 2009). Na porção sul da BHRB há a presença de uma faixa estreita do grupo Bambuí, composto por afloramentos de calcários e dolomitos da Formação Sete Lagoas. Na montante das duas bacias, têm-se as coberturas elúvio-coluvionares que cobrem o topo das chapadas. E próximo à jusante da BHCC há a presença de uma cobertura aluvial relacionada ao transporte de sedimentos inconsolidados pela rede fluvial, depositados em baixas altitudes.

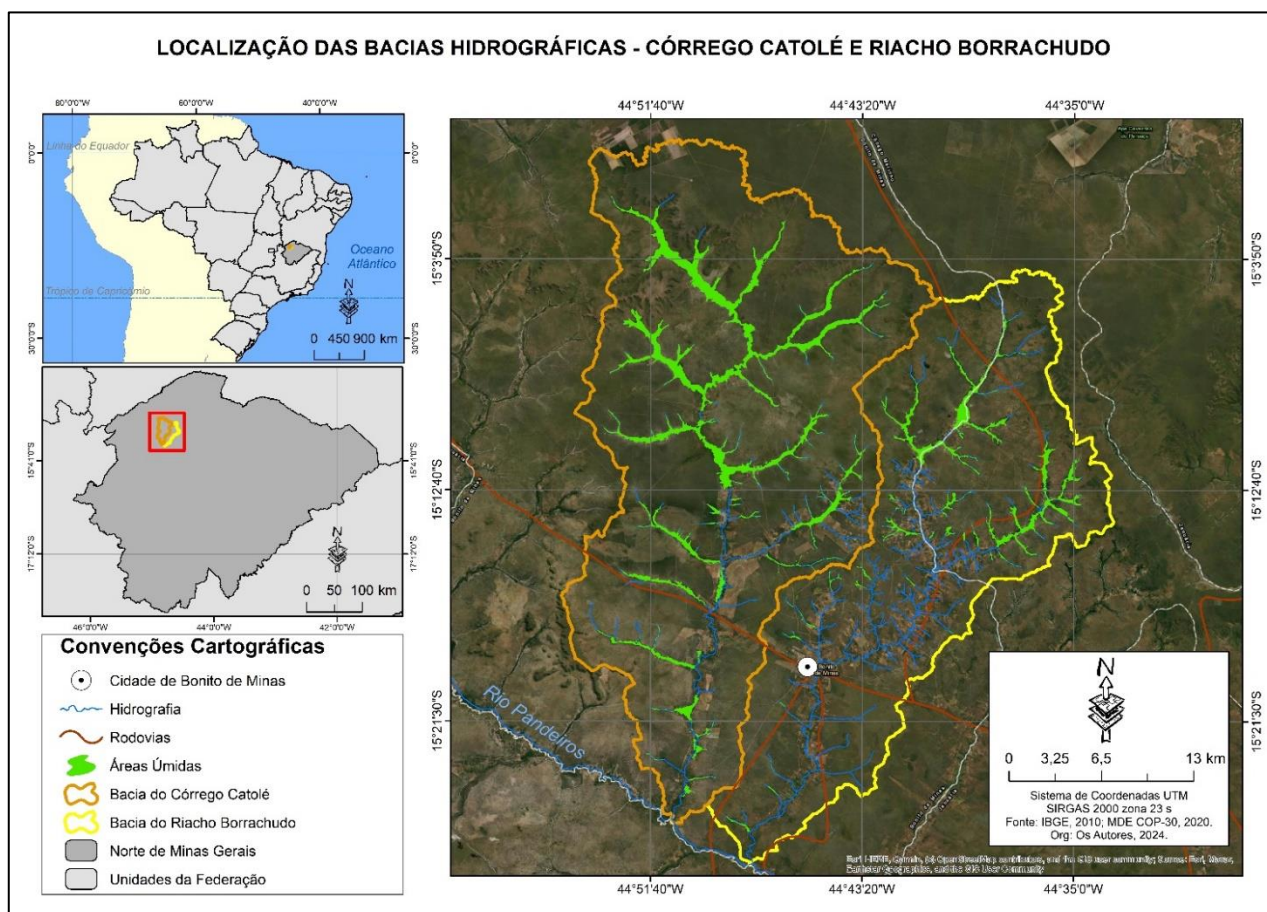


Figura 1 - Localização da Área de Estudos

Fonte: IBGE, 2010; MDE COP-30, 2020. Elaboração: Os autores, 2024.

2.2. Procedimentos Operacionais

Inicialmente, fez-se uma revisão teórica sobre o relevo de chapadas, erosão hídrica, vulnerabilidade ambiental e mapeamento do relevo. Em seguida, foram feitas as seguintes etapas:

2.2.1. Mapeamento do relevo e Perfis Topográficos

Utilizando como base os estudos de Valadão (2009) e Mantovani (2020), delimitou-se em ambiente SIG as superfícies de aplanamento da área de estudo, suas áreas dissecadas e conservadas. Para realizar tal mapeamento, usou-se as imagens do MDE COP-30 (2020) e do satélite WorldView-II (2015) de 1,20 metros de resolução espacial, concedidas pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes). Ainda nesta etapa, as bacias foram compartimentadas obedecendo aos limites de seus interflúvios. A partir da compartimentação da BHCC e BHRB em alta, média e baixa bacia, traçaram-se perfis topográficos transversais a fim de retratar o relevo em diferentes seções das bacias. A etapa de confecção dos perfis transversais foi realizada com o auxílio do *software* Global Mapper, versão 19.

2.2.2. Índice de Dissecação do Relevo (IDR)

O IDR foi obtido por meio dos *softwares* ArcGis 10.5 e QGIS 2.18. Os procedimentos efetuados para a construção do índice totalizam 4 etapas: pré-processamento das imagens, grau de entalhamento dos vales, dimensão interfluvial média e o cálculo da dissecação do relevo, com base em Guimarães *et al.* (2017).

2.2.3. Modelagem à Perda de Solos (USLE)

A Equação Universal à Perda de Solos ou *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) é um modelo empírico de predição da perda média anual de solos de determinada área por meio da erosão hídrica, em que seu cálculo é feito a partir da álgebra (ao final da compilação das variáveis) na Calculadora Raster entre elementos naturais e antrópicos (Equação 1).

(1)

$$A = R * K * LS * C * P$$

Onde:

A= Perda média anual de solo por unidade de área ($t\ ha^{-1}ano^{-1}$);

R= Fator erosividade da chuva ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$);

K= Fator erodibilidade dos solos ($t\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$);

LS= Fator Topográfico (adimensional);

C= Uso e manejo do solo (adimensional);

P= Práticas conservacionistas (adimensional).

✓ *Fator Erosividade da Chuva (R)*

A erosividade (Fator R) está associada à capacidade das precipitações em provocar a erosão em áreas não-vegetadas (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Essa capacidade depende da intensidade de sua ocorrência em um período aproximado de 30 minutos consecutivos (EI_{30}). Nesse caso, devido à dificuldade ou ausência de registros desses dados, o EI_{30} pode ser associado ao Índice de Fournier Modificado (MFI), em que os valores de erosividade são obtidos por meio das médias mensais e anuais das precipitações (OLIVEIRA; LEITE, 2018).

A determinação dos valores de erosividade de determinada área requer a obtenção de dados históricos de pluviosidade, no entanto, esses registros são de difícil acesso, insuficientes ou escassos (MELLO *et al.*, 2007; VIOLA *et al.*, 2014). Na área de estudo, não há a presença de estações que forneçam um histórico da pluviosidade, nesse caso, a erosividade foi obtida a partir dos valores de precipitação das estações mais próximas.

Para efeito deste estudo, foram obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dados históricos (1990-2020) de seis estações meteorológicas convencionais (83386, 83408, 83384, 83334, 83332 e 83286) localizadas nos estados de Minas Gerais (MG), Goiás (GO) e Bahia (BA) – (Tabela 1).

Tabela 1 - Estações meteorológicas convencionais utilizadas para o cálculo da Erosividade.

Estações	Código	Latitude (Y)	Longitude (X)
Januária (MG)	83386	15°26'54.6" S	44°22'00.2" W
Carinhanha (BA)	83408	14°18'01.6" S	43°46'13.5" W
Arinos (MG)	83384	15°54'01.6" S	46°06'37.5" W
Formoso (GO)	83334	14°57'01.6" S	46°14'25.5" W
Posse (GO)	83332	14°05'25.6" S	46°22'13.5" W
Correntina (BA)	83286	13°19'49.6" S	44°37'13.5" W

Fonte: INMET, 2021. Elaboração: Os autores, 2021.

Em função da ausência de dados de estações localizadas na área de estudo foi feito o Índice de Fournier Modificado (MFI) conforme sugerido por Mello *et al.*, (2007), Oliveira; Leite (2018). Esse índice baseia-se nas médias de precipitação mensal e anual, em um período mínimo de 10 anos contínuos, aproximadamente. Nesse trabalho, foram utilizados registros pluviométricos dos últimos 30 anos (1990-2020) – (Equação 2).

(2)

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p_a}$$

Onde:

MFI= é o coeficiente da chuva (mm);

P_i= é a precipitação média mensal (mm);

P_a= é a precipitação média anual (mm).

Em seguida, foi feito o cálculo da erosividade (fator R) conforme a equação proposta por Silva (2004), para o norte de Minas Gerais – (Equação 3).

(3)

$$R = 42,307. (MFI) + 69,763$$

Após a obtenção dos valores de erosividade para cada estação, foram espacializados os dados para a área de estudo, por meio do interpolador *Inverse Distance Weighting* (IDW) do *software* ArcGis, versão 10.5. E por fim, extraíram-se os valores de erosividade de cada bacia.

✓ Fator Erodibilidade dos Solos (K)

A erodibilidade refere-se à suscetibilidade à erosão dos solos devido ao impacto das chuvas. Essa suscetibilidade depende de suas características, tais como a permeabilidade, estrutura, localização, material de origem, dentre outros (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Os dados de solos foram obtidos via o mapeamento pré-existente do RADAMBRASIL na escala de 1:1.000.000, apresentado na escala 1:250.000 e disponibilizado pelo IBGE, através do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA). A atribuição dos valores do fator K para cada tipo de solo da área de estudo foram extraídos da literatura, tendo como referência os trabalhos de Silva *et al.* (2009); Demarchi e Zimback (2014); Hernani *et al.* (2015).

✓ Fator Topográfico (LS)

O Fator Topográfico (LS) é produto do comprimento de rampa (L) pela declividade do terreno (S). Por meio deste fator é possível identificar as áreas em que o escoamento

superficial possui maior velocidade, o que, conseqüentemente, interfere nas taxas de perdas de solos.

O fator LS foi calculado no *software* SAGA GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*) de modo automático, por meio do método de Desmet e Govers (1996). Para que o LS fosse estimado, tornou-se necessário a geração do fluxo de direção, acumulação e declividade da área de cada bacia. O fator L é calculado conforme a Equação 4.

(4)

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

Onde:

$L_{i,j}$ = fator de comprimento de rampa de uma célula com coordenadas (i, j);

$A_{i,j}$ = área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j);

D= tamanho da grade de células (m);

$x_{i,j}$ = valor da direção do fluxo;

m= coeficiente dependente da declividade.

Quanto ao fator S, este é determinado a partir da equação de Nearing (1997) – (Equação 5).

(5)

$$S = -1,5 + \frac{17}{(1 + e^{2,3-6,1 \cdot \sin \theta})}$$

✓ *Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)*

O uso e manejo do solo (fator C) referem-se à influência da cobertura vegetal nas perdas de solo. A presença de vegetação faz com que a água da chuva seja interceptada e atinja o solo com menor impacto, reduzindo o efeito *splash* e retardando o escoamento superficial, logo contribui na minimização do processo de erosão.

O fator C compreende valores que variam entre 0 a 1. Quanto mais próximo de 0, significa que o solo está menos vulnerável à erosão, e, quanto mais próximo a 1, maior a sua vulnerabilidade. Para determinar o fator C foi feito o uso e cobertura da terra da área de estudo, com base nas imagens *WorldView-II* de 1,20 metros de resolução espacial. Logo após a identificação e delimitação dos usos, atribuiu-se os valores de C para cada classe conforme Stein *et al.* (1987), Galdino *et al.* (2003), Silva (2004) e Galdino (2012).

Sobre as práticas conservacionistas (fator P), estas se referem à adoção de medidas que minimizem o efeito da erosão hídrica em áreas cultivadas pelo homem. Essas medidas podem ser do tipo curvas de nível, em faixas, terraceamento, dentre outras (OLIVEIRA; LEITE, 2018). Como na área de estudo não foi identificada a adoção de nenhuma dessas medidas, o fator P foi considerado como de valor 1.

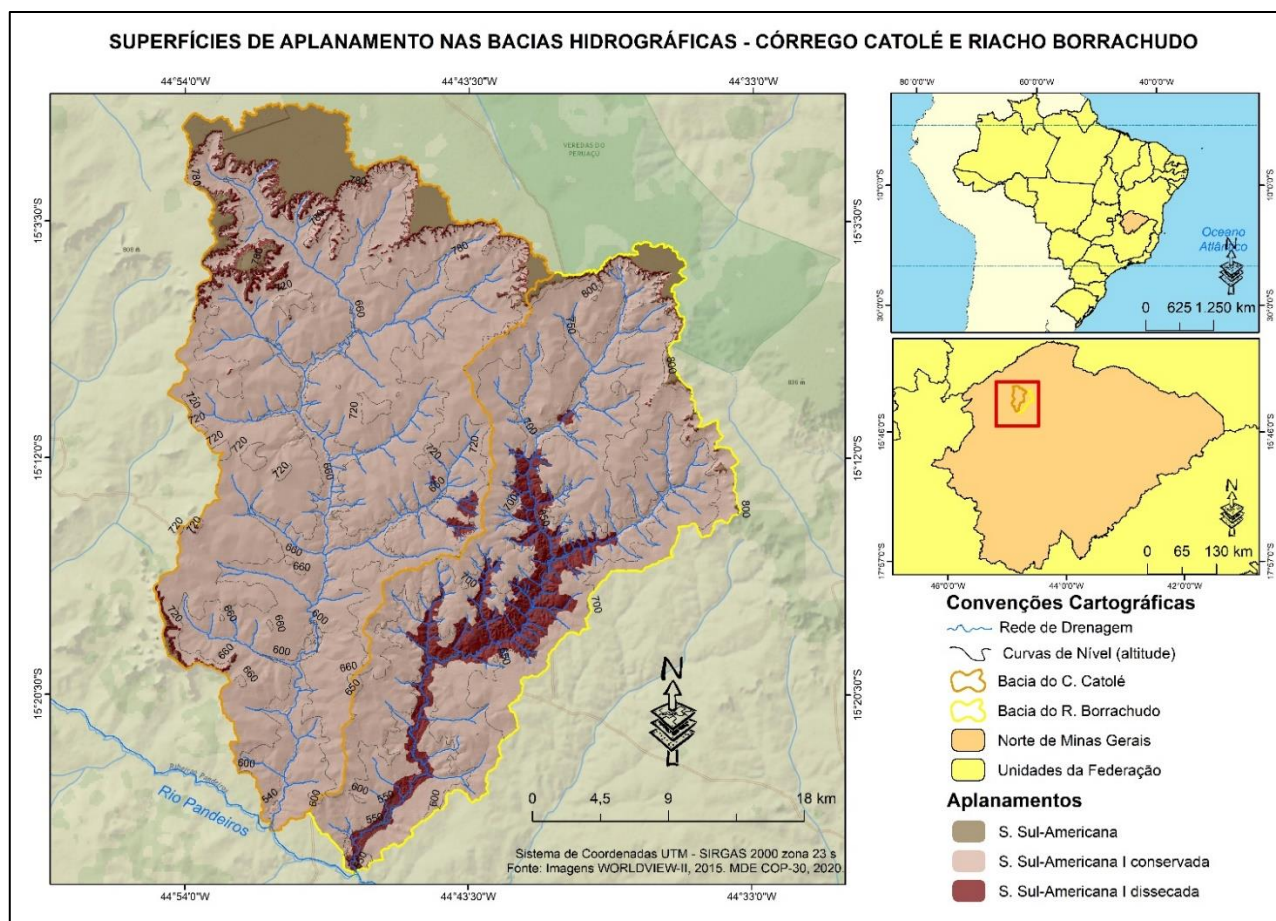
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As bacias do córrego Catolé e riacho Borrachudo compreendem áreas aplanadas conservadas e dissecadas pelo ciclo Sul-Americano e pelo ciclo Velhas (KING, 1956), denominadas Superfície Sul-Americana e Superfície Sul-Americana I (VALADÃO, 2009). Na área de estudo, a Superfície Sul-Americana corresponde a 62,17 km² na BHCC e 13,55 km² na BHRB e se localiza na forma de remanescentes na parte alta das bacias e no platô à sudoeste do córrego Catolé.

A Superfície Sul-Americana I (VALADÃO, 2009) encontra-se embutida à Superfície Sul-Americana e representa a maior parte das bacias (acima de 90%), suas áreas correspondem a relevos elaborados pelo ciclo Velhas de King (1956). Esta superfície compreende relevos conservados, que é dominante nas duas bacias (entre 75% e 85%) e relevos dissecados (entre 5% e 15%) situados em áreas de transição entre a Superfície Sul-Americana e a Superfície Sul-Americana I conservada, além do médio e baixo curso das duas bacias (Figura 2).

A bacia do Alto Catolé (Figura 3 - Perfis A e B) apresenta interflúvios entre 750 m e 815 m de altitude, enquanto os fundos de vale atingem 660 e 680 metros. Nesse compartimento ocorre o maior desnível altimétrico da BHCC (Perfil A – 135 m, Perfil B – 120 m), considerando a seção transversal. Isso ocorre em função da presença de remanescentes da Superfície Sul-Americana delimitada por escarpamento no extremo norte da bacia, cujos topos ainda conservados são tabuliformes e aqueles em processo de desmantelamento apresentam pequenas cristas. Por sua vez, as vertentes possuem formas côncavas, o que favorece o escoamento superficial concentrado, e consequentemente, a erosão linear.

Na bacia do médio Catolé (Perfis C e D), as encostas apresentam desnível altimétrico de até 95 m, a forma predominante é a convexa, o que favorece a dispersão dos fluxos d'água. Na bacia do baixo Catolé (Perfis E e F), as encostas são mais amplas e suaves, com curvaturas convexas e côncavas ao longo do perfil, nesse compartimento os processos de deposição tendem a ser mais favorecidos do que os de erosão.

**Figura 2** - Relevo na BHCC e na BHRB

Fonte: MDE COP-30, 2020; Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração Os autores, 2022.

A bacia do Alto Borrachudo (Figura 4 - Perfis A e B) possui interflúvios entre 715 m e 780 m de altitude e fundos de vale entre 655 m e 680 m, com desnível altimétrico de 100 m (Perfil A) e 60 m (Perfil B), valor menor do que o apresentado pela bacia do Alto Catolé. No extremo norte da bacia, a margem direita é mais elevada do que a margem esquerda, associado à presença de relictos da superfície Sul-Americana que tem ocorrências na porção norte-nordeste da bacia. As vertentes convexas são dominantes, com exceção daquelas próximas ao grande aplanamento que possuem curvaturas côncavas.

No Médio Borrachudo (Perfis C e D) há ocorrência de vertentes com trechos convexas, côncavos e retilíneos, ou seja, há trechos cujo fluxo é concentrado e outros difusos. As áreas de relevo mais movimentado da bacia se encontram nesse compartimento, com encostas curtas e outras mais amplas que podem apresentar desnível de até 60 m. Na bacia do Baixo Borrachudo, há a presença de vertentes suaves e curtas (Perfil E), suaves e amplas (Perfil F), com desnível máximo de 30 m.

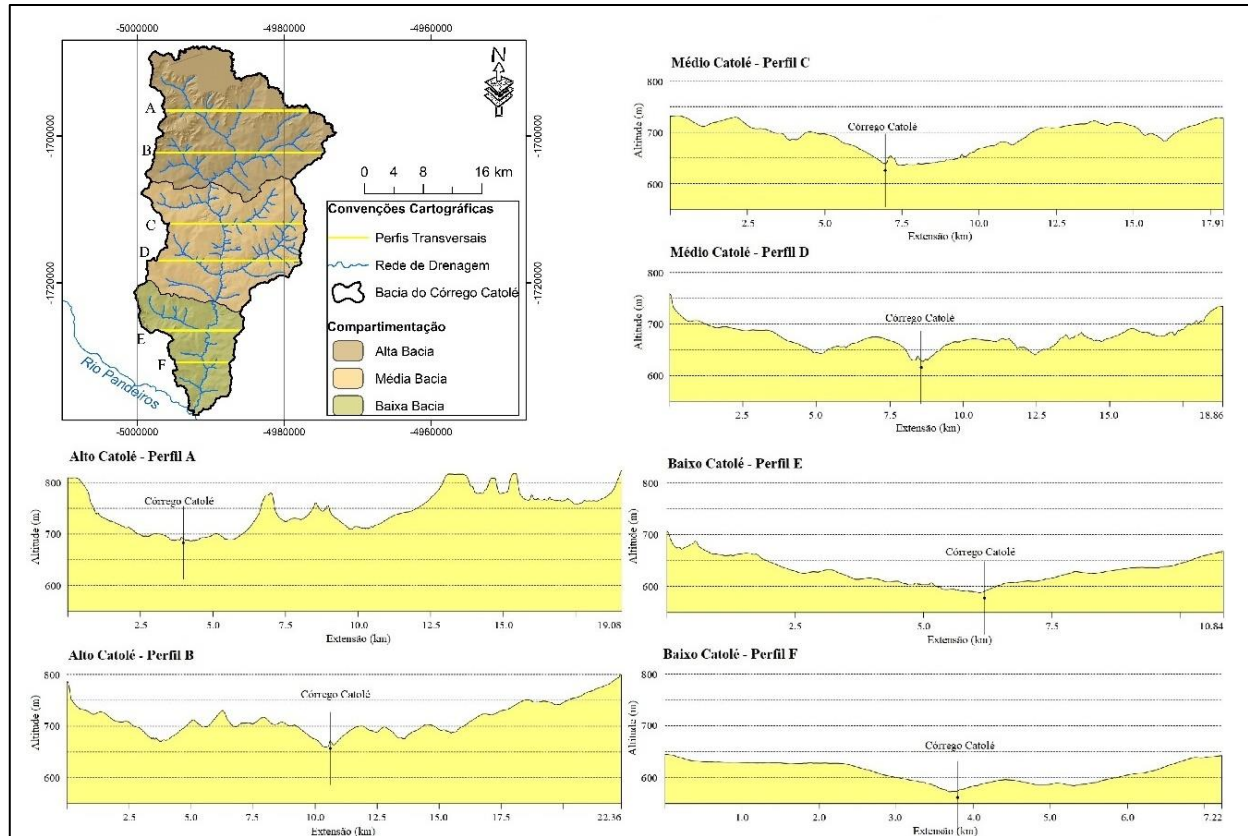


Figura 3 - Compartimentação da BHCC e seus Perfis Transversais

Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: Os autores, 2022.

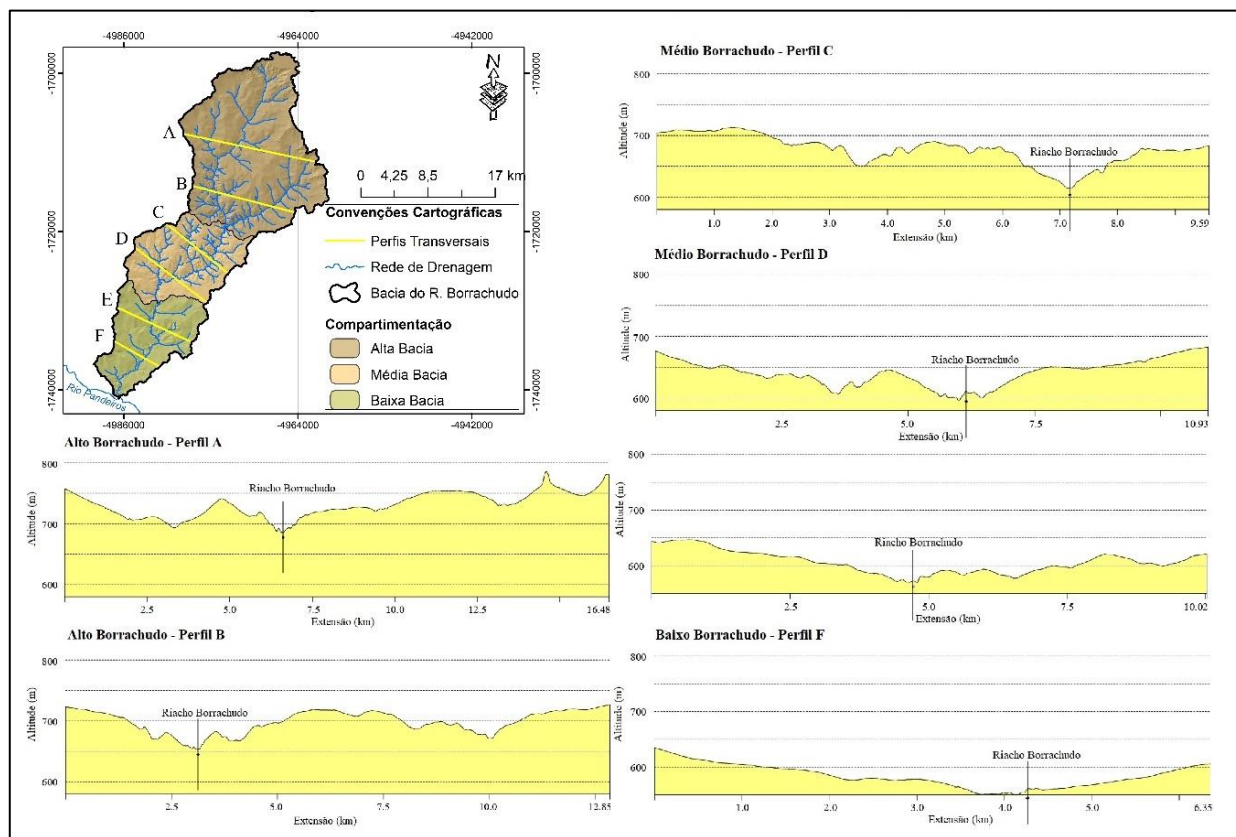


Figura 4 - Compartimentação da BHRB e seus Perfis Transversais

Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: Os autores, 2022.

Com base no Índice de Dissecação do Relevo (IDR) da área de estudo, constatou-se que ambas as bacias apresentam, em sua maioria, relevos com fraco grau de dissecação, característicos das paisagens associadas a superfícies de aplanamento, com predomínio de baixas declividades e à baixa densidade de drenagem em geral. O aspecto com maior dissecação ocorre principalmente na parte alta da BHCC, em áreas de encostas e escarpas que separam superfícies associadas a diferentes ciclos erosivos, apresentando desníveis altimétricos de até 160m.

Na parte alta bacia da BHRB, os relevos também apresentam áreas dissecadas, embora não sejam tão expressivas quanto na BHCC, devido à presença de vales pouco profundos (~47 metros). No médio curso dessa bacia, há a presença de relevos com forte e moderado grau de dissecação, associado à maior densidade de canais, com entalhamento dos vales entre 40 a 80 m (Figura 5). Em ambas as bacias, há o predomínio de fraco grau de entalhamento dos vales (entre 10 e 30 m), ou seja, os vales, em sua maioria, são rasos, e de pequena dimensão interfluvial (<500 m).

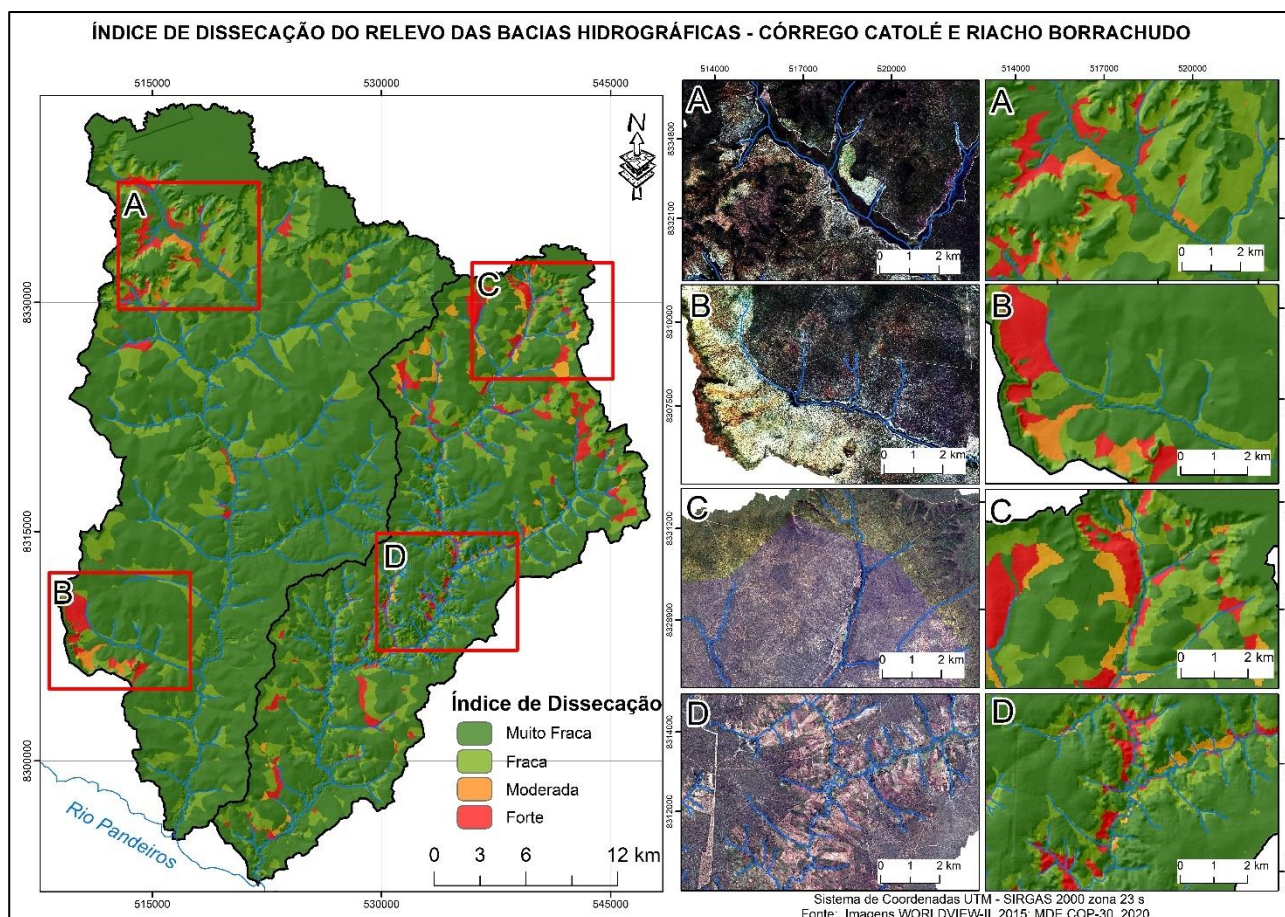


Figura 5 - Índice de Dissecação do Relevo da BHCC e da BHRB

Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: Os autores, 2022.

Para a compreensão da suscetibilidade à perda de solos das bacias hidrográficas estudadas, analisou-se individualmente cada fator da USLE (erosividade, erodibilidade, topográfico, uso e manejo), para depois considerá-los de forma integrada.

3.1. Erosividade da Chuva (Fator R)

A erosividade (fator R) total anual obtida na BHCC apresentou variação entre 6920 e 7152 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ e na BHRB entre 7005 e 7179 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹. Esses valores aproximam-se das estimativas realizadas por Mello *et al.* (2007) para o estado de Minas Gerais e se encaixam entre as variações brasileiras apresentadas por Silva (2004). Conforme a classificação de Foster *et al.* (1981) os valores encontrados são considerados como erosividade média a alta.

O zoneamento da erosividade para estas duas bacias indicam que as áreas de jusante (Figura 6) possuem maiores valores quando comparadas com as de montante, o que pode estar associado à maior proximidade do semiárido dessa última, refletindo nos valores de precipitação registrados pelas estações de Carinhanha (BA) e Correntina (BA).

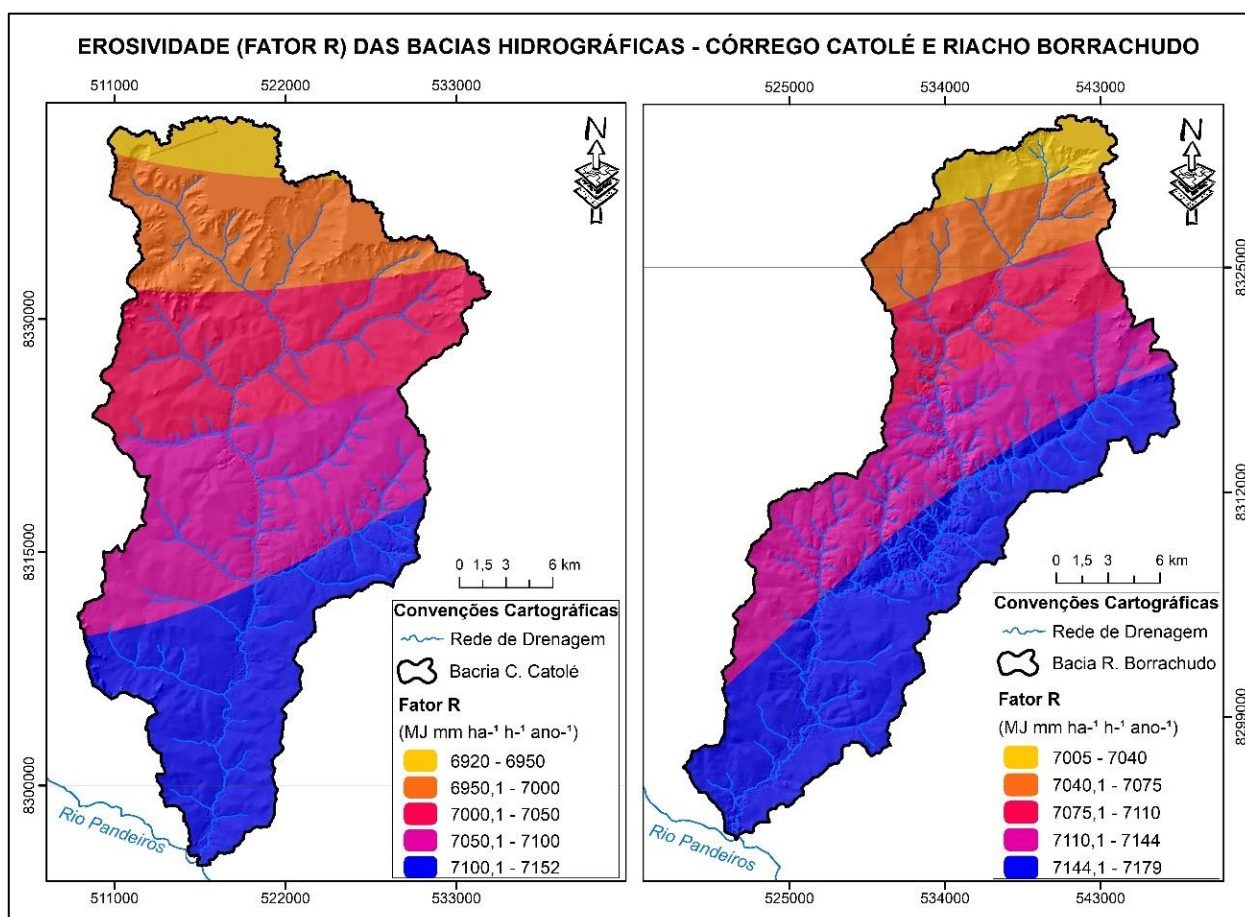


Figura 6 - Fator Erosividade para as duas Bacias Estudadas

Fonte: INMET, 2021. **Elaboração:** Os autores, 2022.

Os valores de erosividade são mais elevados entre os meses de novembro e março, o que corresponde ao período chuvoso da região. O mês de dezembro possui destaque perante os demais, com valores médios de 196,9 mm de precipitação acumulada e de aproximadamente 1540,8 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ de erosividade.

3.2. Erodibilidade dos Solos (Fator K)

Na área de estudo foram identificados solos do tipo Neossolo Quartzarêncio Órtico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico, Cambissolo Háptico Alumínico, Cambissolo Háptico Ta Eutrófico, Gleissolo Melânico Alumínico (Figura 7). Dentre esses solos, o que predomina nas duas bacias é Neossolo Quartzarêncio Órtico (65% - BHCC; 45% - BHRB), que inclusive possui o maior potencial de erodibilidade (0,04).

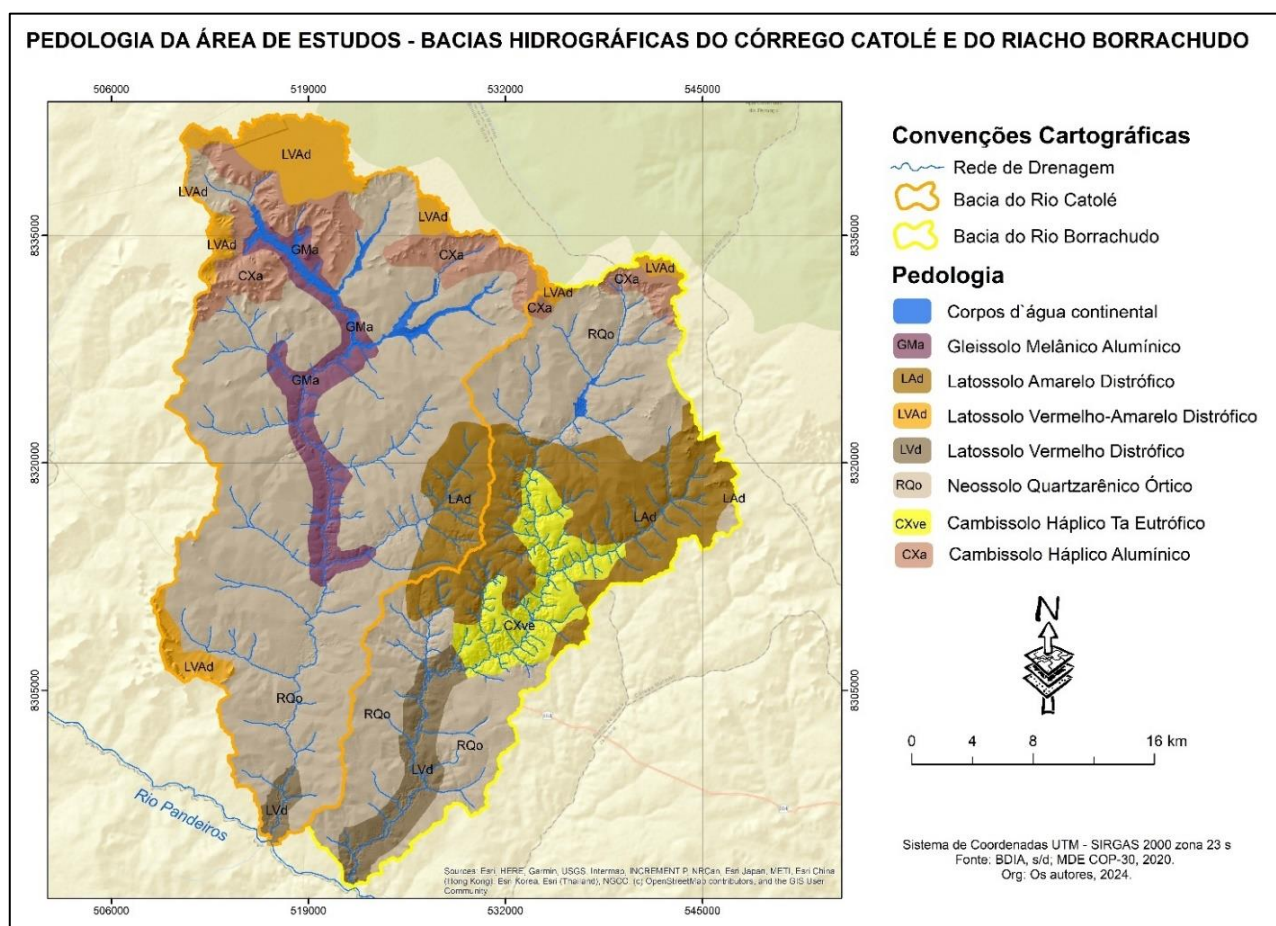


Figura 7 – Pedologia das duas Bacias Estudadas

Fonte: BDIA, s/d. Elaboração: Os autores, 2024.

Os Gleissolos (0,02) e os Latossolos (0,03) são os solos com menor potencial de erodibilidade (Tabela 2). Os Latossolos são solos profundos e intemperizados que se

localizam em áreas de relevo plano ou levemente ondulado. Possuem maior estabilidade de seus agregados, o que faz esses solos serem mais resistentes à erosão. Os Gleissolos também se localizam em áreas de baixo declive e são mal-drenados, o que resulta em baixo potencial de erosão.

Tabela 2 - Fator K para as classes de solos presente na área de estudo

Tipos de solos	Fator K	Referência
Neossolo Quartzarênico Órtico	0,04	DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
Cambissolo Háptico Alumínico	0,03	SILVA <i>et al.</i> (2009)
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico	0,03	SILVA <i>et al.</i> (2009)
Gleissolo Melânico Alumínico	0,02	DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0,03	DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
Latossolo Amarelo Distrófico	0,03	DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
Latossolo Vermelho Distrófico	0,03	HERNANI <i>et al.</i> (2015)
Corpos d'água continental	0	-

Org: Os autores, 2022.

3.3. Fator Topográfico – Comprimento e Grau do Declive (Fator LS)

O fator topográfico da BHCC apresentou valores com variabilidade espacial entre 0,03 e 21,56. Embora o LS tenha apresentado uma amplitude de 21,53, cerca de 94% da BHCC referem-se a valores inferiores a 1,38, uma vez que a bacia é constituída, em sua maioria, por declividades inferiores a 8%, ou seja, as suas superfícies são planas ou levemente onduladas. As áreas com valores acima de 1,38 correspondem a declividades superiores a 8%, que conforme a classificação da Embrapa (s/d), são relevos ondulados, montanhosos e escarpados. Estas áreas correspondem às encostas e escarpas do aplanamento situado na alta bacia, assim como em sua porção sudoeste.

A BHRB apresentou valores menores de LS quando comparada com a BHCC, com variação entre 0,03 e 8,53. A sua distribuição espacial (Figura 8) também possui compatibilidade com a declividade, em que as áreas mais planas (87%) possuem valores de LS entre 0,03 e 0,89 e as áreas mais dissecadas (13%) apresentam valores acima de 0,89. Esta bacia difere da anterior, por apresentar, além das encostas do aplanamento situado na parte de montante, valores de LS mais elevados em seu médio curso, associados ao aspecto mais dissecado do relevo nestas áreas.

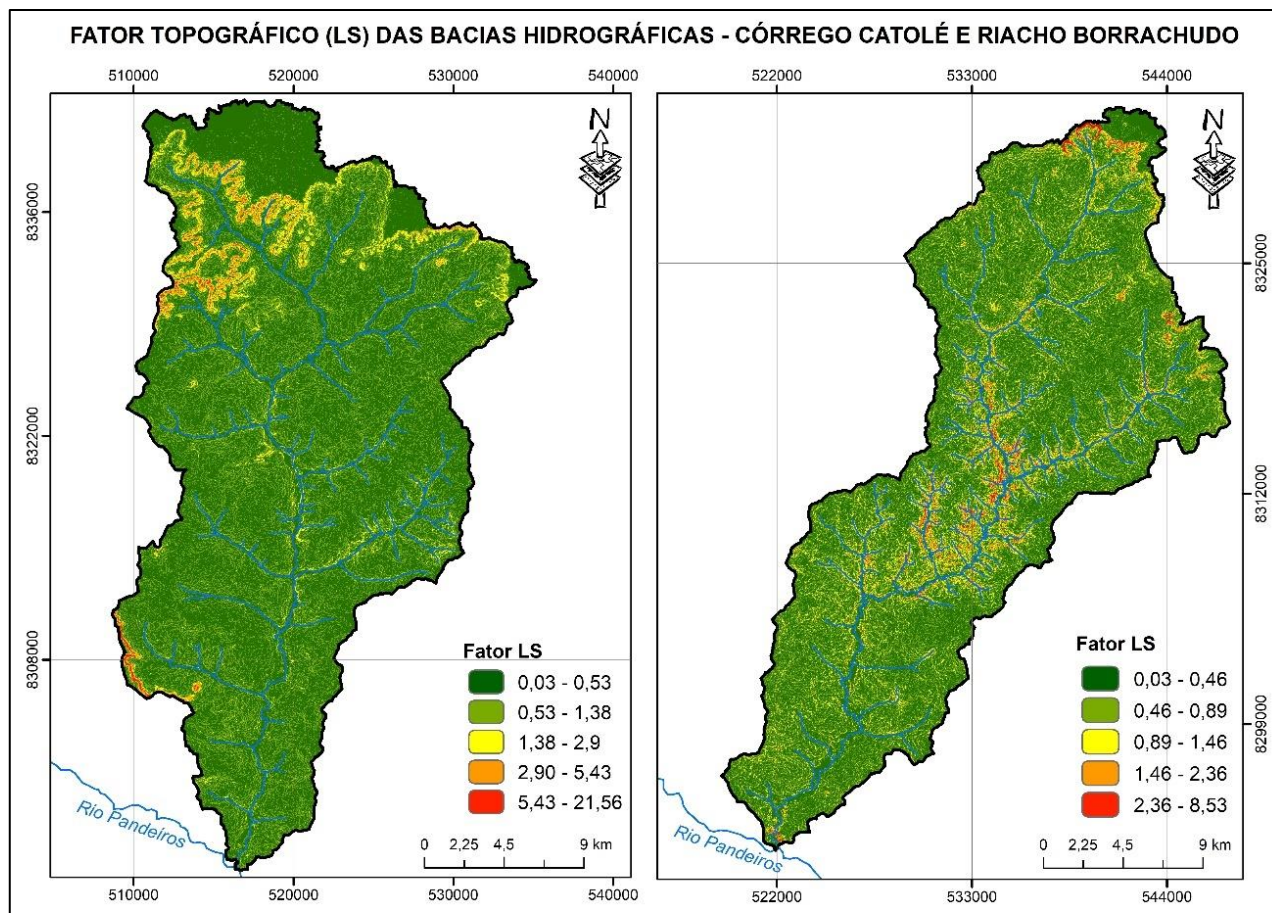


Figura 8 - Fator Topográfico para as duas Bacias Estudadas

Fonte: MDE COP-30, 2020. **Elaboração:** Os autores, 2022.

3.4. Uso e Manejo do Solo (Fator C)

As áreas úmidas e a área urbanizada são as classes que possuem a menor suscetibilidade à erosão (0,001). Isto ocorre em função das suas características, como a alta capacidade de armazenamento nas áreas úmidas e a impermeabilização dos solos na área urbana. Os sistemas úmidos possuem maior representatividade espacial na BHCC (5,8%) do que na BHRB (3,1%), devido à maioria de suas nascentes serem compostas por veredas – Figura 9.

As áreas cobertas por vegetação natural, como o cerrado *stricto sensu*, mata ciliar e mata seca possuem baixos valores do fator C (0,129, 0,034 e 0,034, respectivamente), e compreendem aproximadamente 85,2% da BHCC e 83,6% da BHRB. Essas fitofisionomias protegem o solo contra o efeito *splash* através da interceptação da água da chuva, retardando o escoamento superficial das águas e promovendo maior infiltração, o que reduz a suscetibilidade dos solos à erosão hídrica.

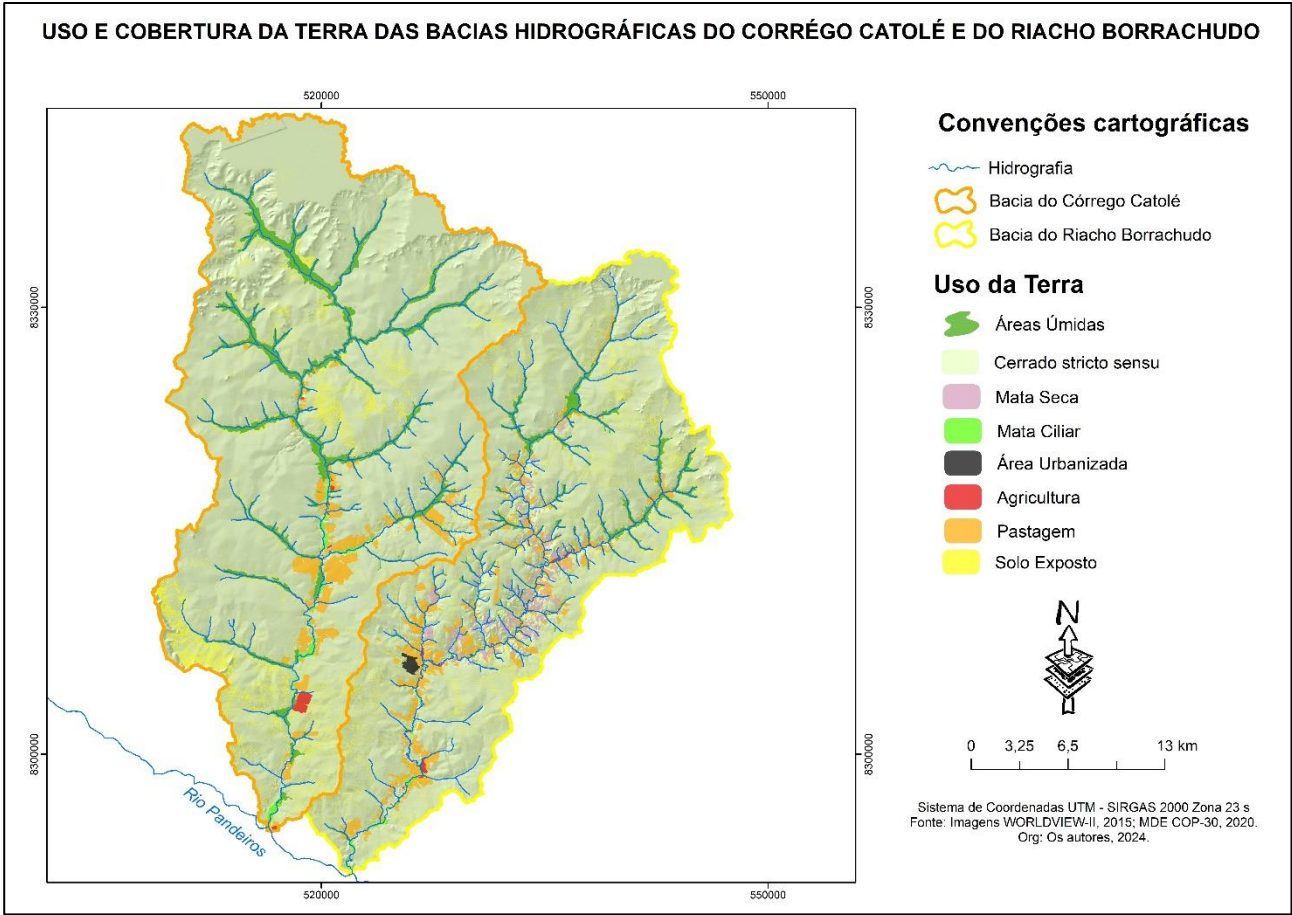


Figura 9 – Uso da Terra para as duas Bacias Estudadas.
Fonte: Imagens WorldView-II, 2015. Elaboração: Os autores, 2024.

Os valores mais altos do fator C estão associados às classes de usos antrópicos que oferecem mínima ou nenhuma proteção ao solo, como a agricultura (0,180), a pastagem (0,0143) e o solo exposto (1). Estes usos permitem que as gotas de chuva atinjam o solo com maior força e velocidade, o que favorece o desprendimento e transporte de suas partículas. Na área de estudo, estes altos valores de C representam cerca de 9% da BHCC e 13,3% da BHRB – (Tabela 3).

Tabela 3: Fator C para as classes de uso da terra da área de estudos.

Uso da Terra	BHCC (Área em %)	BHRB (Área em %)	Fator C	Referência
Cerrado stricto sensu	84,4%	80,4%	0,129	Galdino <i>et al.</i> 2003
Mata Ciliar	0,9%	1,2%	0,034	Galdino <i>et al.</i> 2003
Mata Seca	0%	1,9%	0,034	Galdino <i>et al.</i> 2003
Áreas Úmidas	5,8%	2,9%	0,001	Silva, 2004
Pastagem	3,1%	6,1%	0,0143	Galdino, 2012
Agricultura	0,2%	0,2%	0,180	Silva, 2004
Área Urbanizada	0%	0,2%	0,001	Silva, 2004
Solo Exposto	5,7%	6,9%	1,0	Stein <i>et al.</i> 1987

Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração: Os autores, 2022.

3.5. Estimativa de Perda de Solos por Erosão Hídrica

A BHCC e a BHRB apresentam, em sua maioria, baixo potencial de perda de solos ($< 10 \text{ ton. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), em função do predomínio de áreas com baixas declividades e da alta cobertura de vegetação nativa. Aproximadamente 81,8% da BHCC e 69,7% da BHRB possuem potencial de perda de solos inferior a $5 \text{ ton. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. As áreas com maior potencial compreendem áreas de encostas que possuem maior declive, como nos seguintes trechos: a) média BHRB, devido à maior dissecação do relevo pela densidade de drenagem; b) setor de montante das duas bacias, em função da presença de uma superfície de aplanamento ainda conservada, com altitudes acima de 760 metros; c) porção sudoeste da BHCC, em que há a ocorrência de um pequeno platô com diferença altimétrica entre o topo e o fundo do vale, semelhante àsquelas identificadas na montante das bacias.

Devido às generalizações cartográficas, as estimativas de perda de solos geradas com a USLE são apenas qualitativas, cujo intuito é visualizar as áreas com maior suscetibilidade à erosão hídrica. A BHCC apresenta áreas com maior potencial à perda de solos do que a BHRB, com trechos que ultrapassam $50 \text{ ton. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. (Figura 10).

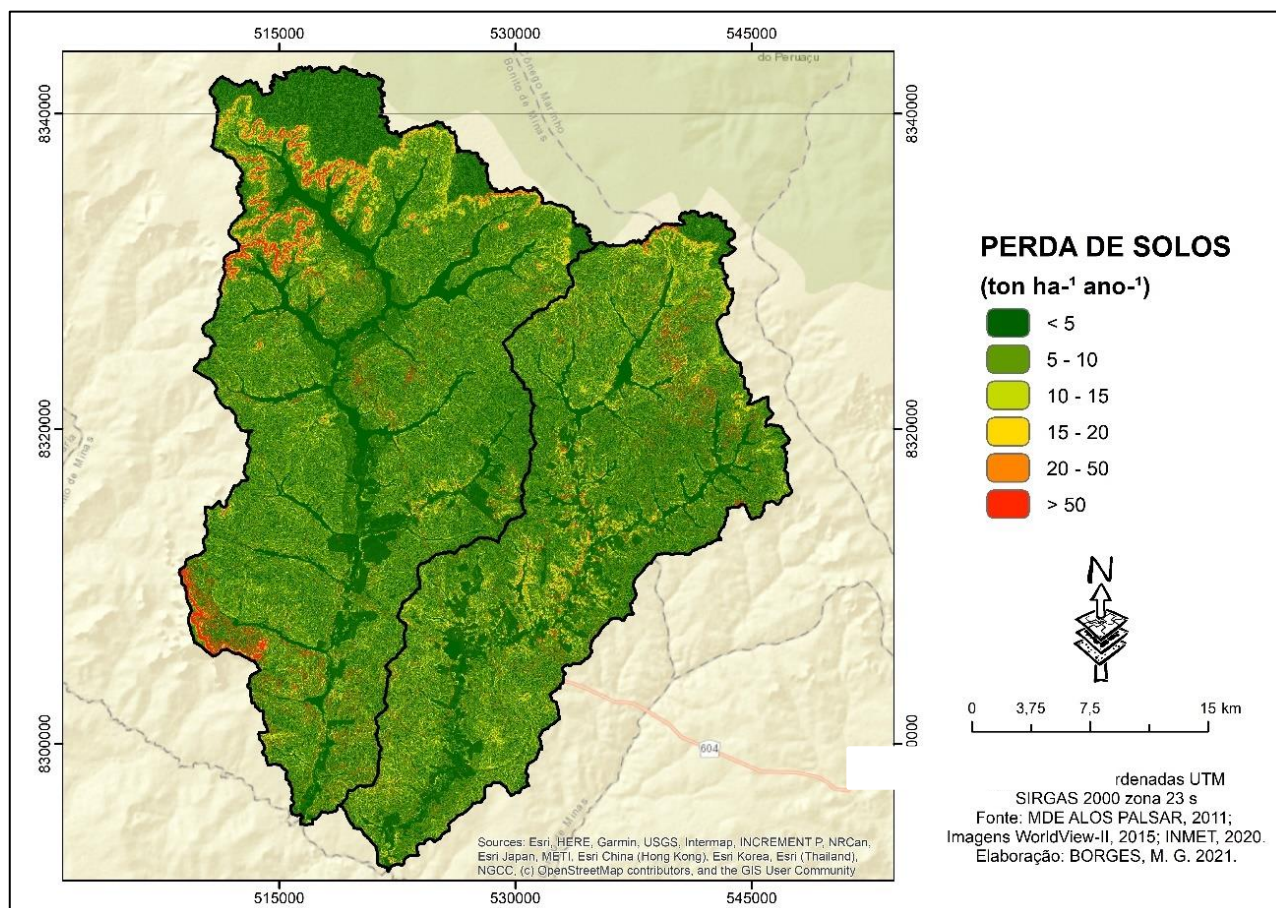


Figura 10 - Suscetibilidade à Perda de Solos por Erosão Hídrica na BHCC e BHRB

Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; INMET, 2020; MDE COP-30, 2020. Elaboração: Os autores, 2022.

Apesar do mapeamento realizado com a USLE apontar que a BHCC possui maior potencial à perda de solos, as áreas classificadas como de maior suscetibilidade à perda de solos na BHCC são de localização bastante específica e restrita, situando-se principalmente das áreas escarpadas da transição entre superfícies de aplanamento (Sul-Americana para a Sul-Americana I).

O restante da bacia apresenta potenciais bastante baixos. Os valores elevados de potencial de perda de solo resultaram essencialmente da influência do fator LS (comprimento e declividade da vertente). A sensibilidade da USLE ao fator LS também pode ser visualizada em outros trabalhos, como o de Rosa, Cherem e Siame (2022). Essas áreas situam-se principalmente na zona de cabeceiras e altos cursos da rede hidrográfica, geralmente a montante de áreas úmidas e, portanto, seu potencial mais elevado de perda de solos não se traduz necessariamente em uma perda importante de solos no contexto da bacia. Na BHRB, por sua vez, não há concentração significativa das áreas com altos potenciais de perda de solo. Observa-se que, excluindo-se as áreas de altos potenciais de perda de solo na BHCC, a BHRB apresenta potenciais mais elevados, em seu conjunto - valores médios de 15,79 ton. ha⁻¹. ano⁻¹. na BHCC e 37,38 ton. ha⁻¹. ano⁻¹. na BHRB.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O IDR demonstrou que embora haja o predomínio de relevos planos ou levemente ondulados, há trechos do alto curso das duas bacias e do médio curso da BHRB, com relevos moderadamente dissecados. Grande parte das duas bacias compreende baixas declividades, baixa densidade de drenagem e alta cobertura de vegetação natural, resultando em baixo potencial erosivo. As áreas de maiores suscetibilidade são na média BHRB, na parte de montante das duas bacias e na porção sudoeste da BHCC. A BHCC e a BHRB apresentam seus relevos em diferentes estágios evolutivos, o que reflete na suscetibilidade à perda de solos.

Os maiores valores de potencial de perda de solo foram encontrados na BHCC, mas isso ocorre em áreas restritas, associadas às escarpas entre as superfícies Sul-Americana e Sul-Americana I. Por se situarem nos altos cursos dos canais, à montante das áreas úmidas, esse potencial não se reflete em maior perda de solo no contexto da bacia, em comparação com a BHRB, onde o valor médio de perda de solos foi maior.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

ARCGIS. **Software versão 10.5**. ESRI, s/d. Disponível em: <https://int-store.esri.com/en-us/store/overview>. Acesso em: 22 fev. 2022.

COP-30, Modelo Digital de Elevação. **OpenTopography**, 2020. Disponível em: <https://opentopography.org/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, Erodibilidade e Tolerância de Perda de Solo na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

DESMET, P. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

DUSZYŃSKI, F.; MIGOŃ, P.; STRZELECKI, M. C. Escarpment retreat in sedimentary tablelands and cuesta landscapes – Landforms, mechanisms and patterns. **Earth-Science Reviews**, v.196, 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Portal Relevo**, s/d. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

FOSTER, G. R. *et al.* Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation**, v. 36, p. 355-359, 1981.

GALDINO, S. **Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do Alto Taquari-MS/MT**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

GALDINO, S. *et al.* **Perdas de Solo na Bacia do Alto Taquari**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003.

GLOBAL MAPPER. **Software versão 19**. Blue Marble Geographics, s/d. Disponível em: <https://www.blumablegeo.com/global-mapper-download/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

GUIMARÃES, F. S. *et al.* Uma proposta para automatização do Índice de Dissecação do Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, p. 155-167, 2017.

HERNANI, L. C. *et al.* Potencial natural de erosão e geotecnologias para a classificação de capacidade de uso dos solos. In: CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. (Orgs.). **Solos Frágeis, caracterização, manejo e sustentabilidade**. EMBRAPA. Brasília: 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA)**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e Coberturas Fanerozóicas no vale do rio São Francisco, Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, p. 256-266, 2009.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**, 2021. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

KING, L. A geomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, n. 2, 1956.

LIMA, S. do, C.; QUEIROZ NETO, J. P. de. As veredas e a evolução do relevo. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 15, 1996.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; LAVARINI, C. Unidades espaciais de estudo e elementos do sistema fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. (Orgs). **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

MANTOVANI, J. R. A. **Mapeamento de superfícies de aplanamento no centro-norte da Amazônia**. 2020. 129 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

MARTINS, F.; SALGADO, A. A. R. Morfogênese de uma paisagem de Chapadas: o caso do extremo sul da unidade do relevo Chapadas do Rio São Francisco, Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 79, p. 232-244, 2021.

MELLO, C. R. *et al.* Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MELO, D. R. **As veredas nos planaltos do noroeste mineiro, caracterizações pedológicas e os aspectos morfológicos e evolutivos**. 1992. 218 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1992.

MELO, D. R. **Evolução das veredas sob aspectos ambientais nos geossistemas planaltos de Buritizeiro/MG**. 2008. 341 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

NEARING, M. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 3, p. 917–919, 1997.

NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas em diferentes estádios de conservação, na APA do rio Pandeiros - MG**. 2011. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2011.

OLIVEIRA, W. F.; LEITE, M. E. Perda de Solo por Erosão Hídrica em Bacia Hidrográfica: O Caso da Área de Drenagem da Barragem do Rio Juramento, no Norte do Estado de Minas Gerais. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 67, p. 16-37, 2018.

OLIVEIRA, V. A. *et al.* Soil Erosion Vulnerability in the Verde River Basin, Southern Minas Gerais. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 38, n. 3, p. 262-269, 2014.

QGIS. **Software versão 2.18**. QGIS Development Team, s/d. Disponível em: <<https://qgis.org/download/>>. Acesso em: 22 fev. 2022.

ROSA, L. E.; CHEREM, L. F. S.; SIAME, L. The role of natural and anthropic factors in the variability of soil loss in the state of Goiás between 1985 and 2018. **Sociedade & Natureza**, v. 35, n. 1, 2022.

SAGA GIS. **Software versão 7.8**. SAGA User Group, s/d. Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/saga-gis/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

SALGADO, A. A. R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Revista Geografias**, v. 3, n. 1, p. 64-78, 2007.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251–259, 2004.

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

SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 147-159, 2004.

STEIN, D. P. *et al.* Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na Bacia do Peixe - Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. 4., 1987, Marília. **Anais...** Marília: ABGE/DAEE, 1987. p. 105-135.

VALADÃO, R. C. Geodinâmica de superfícies de aplanamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.10, n. 2, p. 77-90, 2009.

VIOLA, M. R. *et al.* Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 2, p. 125-135, 2014.

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

WORLDVIEW-II - IMAGENS DE SATÉLITE. **DigitalGlobe, 2015**. Disponível em: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview-2>. Acesso em: 22 fev. 2022.

Recebido: 06/05/2024

Aceito: 23/09/2024