

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS LONDRINA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MARCOS CANDIDO DA SILVA

**ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO AZUL, CENTRO-OESTE DO PARANÁ**

LONDRINA

2021

MARCOS CANDIDO DA SILVA

**ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO AZUL, CENTRO-OESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista

LONDRINA

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

**ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
AZUL, CENTRO-OESTE DO PARANÁ**

Por

MARCOS CANDIDO DA SILVA

Monografia apresentada às 15 horas. do dia 02 de setembro de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

| | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Prof. Marcelo Hidemassa Anami | Membro |
| Prof. Ricardo Nagamine Costanzi | Membro |
| Prof. Ligia Flávia Antunes Batista | Orientador |
| Prof. Orlando de Carvalho Junior | Professor(a) responsável TCCII |

AGRADECIMENTOS

Aprendizado, acho que é uma palavra que define a vida, não acho que morremos no dia em que nosso coração para, mas sim no dia em que paramos de aprender, pois cada aprendizado é um novo mundo de possibilidades, então primeiro eu agradeço a todos que me fizeram aprender alguma coisa na minha trajetória na faculdade, desde o Seu Ademar, que me ensinou como as coisas simples da vida fazem a diferença, até os ensinamentos em aula e iniciação científica com a Prof. Dra. Tatiane Dal Bosco, TUDO foi muito valioso, aos amigos que me ensinaram que o caminho da faculdade é árduo mas sem descontração ficaríamos loucos. Agradeço aos meus familiares e a minha noiva por sempre me apoiarem e darem o melhor suporte que podemos ter para a vida, o Amor. Agradeço, imensamente, a Prof. Dra. Lígia, por ter me dado a chance de desenvolver este projeto e os ensinamentos pertinentes ao projeto, agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná por seu meu espaço durante muito tempo.

ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AZUL, CENTRO-OESTE DO PARANÁ

RESUMO

SILVA, MARCOS C. **Estimativa Da Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Azul, Centro-Oeste do Paraná.** 2021. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021).

A erosão hídrica é um dos processos naturais que ocorrem em uma bacia hidrográfica, porém, pode ser agravado pela ação antrópica. Mapear os principais pontos de perda de solo, utilizando ferramentas de SIG, em uma bacia hidrográfica é uma das formas de analisar as práticas conservacionistas que estão sendo aplicadas. Objetivou-se no estudo a elaboração de mapas temáticos que quantificassem os diversos fatores aplicados na Equação Universal da Perda de Solo e encontrar as áreas mais suscetíveis a perda de solo na bacia do Rio Azul, afluente do Rio Piquiri, no centro-oeste do Estado do Paraná. Esta bacia está localizada em três municípios: Palotina, Maripá e Assis Chateaubriand, com área total de drenagem de 432km². Foram apresentados os mapeamentos de cada componente do modelo aplicado: erosividade, erodibilidade, declividade e comprimento de rampa, práticas conservacionistas e manejo do solo. Foram utilizados dados de precipitação dos últimos 22 anos disponibilizados pela Agência Nacional das Águas. A pedologia da região foi obtida a partir de dados do Instituto Água e Terra. O modelo digital de elevação foi adquirido do projeto Topodata, do Instituto de Pesquisas Espaciais. Dados de cobertura e uso do solo foram obtidos da base do projeto MapBiomas. Para cada termo do modelo foi realizado um levantamento bibliográfico dos coeficientes utilizados e empregado o valor médio na modelagem. A erosividade apresentou valores abaixo da literatura para a mesma região em outro período. Os cálculos de fatores morfométricos da bacia corroboraram com os valores obtidos de declividade e fator de rampa. Os resultados mostraram que solos com maior erodibilidade, como o argissolo vermelho eutrófico típico, e maior declividade tendem a apresentar maior erosão do solo. De forma geral, 86% da área apresenta perda de solo de até 3 t.ha⁻¹.ano⁻¹, indicando baixa perda de solo, porém, as regiões com maior perda de solo estão próximas ao exutório da bacia, onde se tem o solo com maior valor para erodibilidade, sendo necessária atenção para as práticas conservacionistas no local. Em geral, a área apresenta perda anual de 150g.ha⁻¹, um valor considerado baixo.

Palavras-Chave: Equação Universal da Perda de Solo. Erodibilidade. Bacia Hidrográfica. Erosão. Geoprocessamento.

ESTIMATING SOIL LOSS IN THE RIO AZUL HYDROGRAPHIC BASIN, CENTER-WEST PARANÁ

ABSTRACT

SILVA, MARCOS C. **Estimating Soil Loss In The Rio Azul Hydrographic Basin, Center-West Paraná.** 2021. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021).

Water erosion is one of the natural processes that occur in a hydrographic basin, however, it can be aggravated by human action. Mapping the main points of soil loss, using GIS tools, in a hydrographic basis is one of the ways to analyze the conservation practices that are being applied. The aim of this study was to elaborate thematic maps that quantify the different factors applied in the Universal Soil Loss Equation and find the areas most susceptible to soil loss in the Azul River basin in the center-west of the State of Paraná. This basin is located in three municipalities: Palotina, Maripá and Assis Chateaubriand, with a total drainage area of 432km². Mappings of each component of the model were generated: erosivity, erodibility, slope and slope length, conservation practices and soil management. Rain data from the last 22 years provided by the National Water Agency were used. The Pedology of the region was obtained from Água e Terra Institute. The digital elevation model was acquired from the Topodata project, from the National Space Research Institute. Land cover and land use data were obtained from the MapBiomias project database. For each term of the model, a bibliographic survey of the coefficients were made and the average value was used in the modeling. Erosivity values found were below the literature for the same region in another period. The mappings of each component of the applied model were presented. The magnitude of soil loss in the basin was defined by the rainfall erosivity, this erosivity presented values below the literature for the same region, the calculations of morphometric factors of the basin corroborated with the values obtained for slope and slope factor. The results showed that soils with greater erodibility, such as the typical eutrophic red clay soil, and greater slope tend to have greater soil erosion. In general, 86% of the area presents soil loss of up to 3 t.ha⁻¹.year⁻¹, indicating low soil loss, however, the regions with greater soil loss are close to the basin's outlet, where there is the soil with the highest erodibility value, requiring attention to local conservation practices. In general, the area presents an annual loss of 150g.ha⁻¹, a relatively low value.

Keywords: Universal Soil Loss Equation. Erodibility. Hydrographic Basin. Erosion. Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Exemplo de bacia Hidrográfica – Rio Ivaí – PR | 16 |
| Figura 2 - Bacia Hidrográfica objeto de estudo | 26 |
| Figura 3- Média de precipitação no período de 1997-2019..... | 33 |
| Figura 4- Pedologia da área de estudo | 36 |
| Figura 5- Classificação dos Valores do fator de K..... | 37 |
| Figura 6- Mapa de declividade da área de estudo | 40 |
| Figura 7- Mapa de distribuição fator LS..... | 41 |
| Figura 8– Uso e Ocupação do Solo | 43 |
| Figura 9– Mapa de perda do Solo (classes em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$)..... | 46 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Correlação dos fatores morfológicos e tendência a enchentes | 21 |
| Quadro 2 - Uso e Ocupação do Solo | 42 |
| Quadro 3 – Intensidade e perda de solo relativa à área..... | 45 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Valores do fator C para certas culturas e tipos de cobertura vegetal | 24 |
| Tabela 2– Valores de P para as práticas conservacionistas | 25 |
| Tabela 3– Valores de K em diferentes Literaturas | 28 |
| Tabela 4– Classes de erodibilidade do solo | 28 |
| Tabela 5-Conceito da Classe LS base no seu Valor | 29 |
| Tabela 6 – Dados de Análise de Precipitação | 32 |
| Tabela 7– Valores médios de R para de cada Mês e média Anual | 33 |
| Tabela 8– Proporção pedológica da Bacia | 35 |
| Tabela 9-Textura do solo de acordo com a composição | 35 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 14 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL | 14 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 3.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS | 15 |
| 3.2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO | 16 |
| 3.3. EROSÃO DO SOLO | 18 |
| 3.4. EROSÃO HÍDRICA | 19 |
| 3.5. MORFOLOGIA DE BACIA HIDROGRÁFICA | 20 |
| 3.6. EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DO SOLO | 22 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 26 |
| 4.1. ÁREA DE ESTUDO | 26 |
| 4.2. FATORES DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO | 27 |
| 4.2.1.EROSIVIDADE DA CHUVA (FATOR R) | 27 |
| 4.2.2.ERODIBILIDADE DA SOLO (FATOR K) | 27 |
| 4.2.3.COMPRIMENTO DE RAMPA E DECLIVIDADE (FATORES L E S) | 29 |
| 4.2.4.USO E MANEJO DO SOLO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (FATOR CP) | 30 |
| 4.3. MORFOLOGIA DA BACIA | 30 |
| 4.4. INTEGRAÇÃO DOS FATORES DA EUPS E O POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE) | 30 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 5.1. FATORES MORFOLÓGICOS DA BACIA | 31 |
| 5.2. FATOR R | 32 |
| 5.3. FATOR K | 34 |
| 5.4. FATOR LS | 39 |
| 5.5. FATOR CP | 42 |
| 5.6. MAPA DE PERDA DE SOLO | 44 |
| 6. CONCLUSÃO | 47 |

1. INTRODUÇÃO

O solo é um dos componentes mais importantes do meio físico, responsável pelo suporte das atividades humanas, é o recurso que suporta a vida vegetal na terra, sem a qual não seria possível a existência dos seres vivos em geral (PEREIRA, 2014).

No Brasil e no mundo a erosão do solo tem sido alvo de grande preocupação, já que sua perda acarreta em prejuízo para diversas atividades econômicas e ao próprio meio ambiente. (AMORIM *et al.*, 2010)

A erosão do solo é entendida como movimentação da massa de solo e pode ser classificada como artificial e natural, sendo a primeira causada pelo homem e a segunda pela própria natureza. Dentre as causas artificiais estão o desmatamento, mineração, agricultura, construção de estradas, e algumas outras. Essas atividades mexem na estrutura física do solo e aumentam as ações naturais dos tipos específicos de erosão como a hídrica e a eólica. (SANTOS e DAIBERT, 2014).

A erosão hídrica laminar consiste no desprendimento e transporte das partículas de solo e seu controle torna-se necessário quando a quantidade de solo removida atinge valores acima do considerado aceitável (AMORIM, 2003).

A ação do vento provoca o desprendimento de partículas das rochas e do solo, causando o arrasto para longas distâncias, a erosão eólica pode ser agravada pelo desmatamento e mudanças climáticas (SANTOS e DAIBERT, 2014).

Os processos erosivos podem ser acelerados pelas próprias características naturais do local e também pela ação antrópica. O homem sempre buscou maneira de obter a maior eficiência na hora de utilizar os recursos naturais, mas com o advento das técnicas modernas de agricultura, o meio ambiente e a sustentabilidade passaram a ficar de lado neste processo (PEREIRA, 2014).

O atual cenário de degradação do solo exige pesquisas com vistas a quantificação do processo erosivo, possibilitando o planejamento do uso e manejo do solo, com o objetivo de diminuir a intensidade da degradação e a conservação deste recurso natural. Alguns parâmetros que são utilizados nos modelos de predição do solo são difíceis de se obter de forma empírica, por isso foram formulados modelos matemáticos que podem ser executados em ambiente de sistemas de Informação Geográfica. (DERMARCHI, 2019)

Destaca-se o desenvolvimento da Equação Universal da perda de solo Wischmeier e Smith (1978), que é uma equação empírica que estima as taxas anuais de perda de solo baseado em dados de fatores físicos do local de estudo, utilizada até os dias atuais como referência para perdas de solo. (ALEWELL et al. 2019; PHAM; DEGENER; KAPPAS, 2018; JAZOULI et al., 2017; SINGH e PANDA, 2017)

O presente trabalho tem como objetivo mapear os principais fatores físicos da Bacia do Rio Azul no centro-oeste do Paraná, que é um afluente do Rio Piquiri, na região de Toledo, e estimar a perda anual do Solo para este local, como forma de gerar subsídio para melhorar ou continuar com as práticas conservacionistas, já que a região é umas das maiores produtoras agrícolas do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Gerar um mapa de estimativa de perda de solo na bacia do Rio Azul com base no modelo EUPS indicando as regiões com maiores propensões à erosão, bem como estimar a perda de solo anual na área.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Analisar o uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica com ferramentas de geoprocessamento e sistemas de informação geográfica a fim de encontrar os parâmetros necessários para a estimativa de perda de solo na Bacia do Rio Azul;

b) Mapear os parâmetros que compõem a Equação Universal da perda de Solo (EUPS) na bacia hidrográfica do Rio Azul por meio de ferramentas de Geoprocessamento e analisar o impacto da ação antrópica na região de Estudo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS

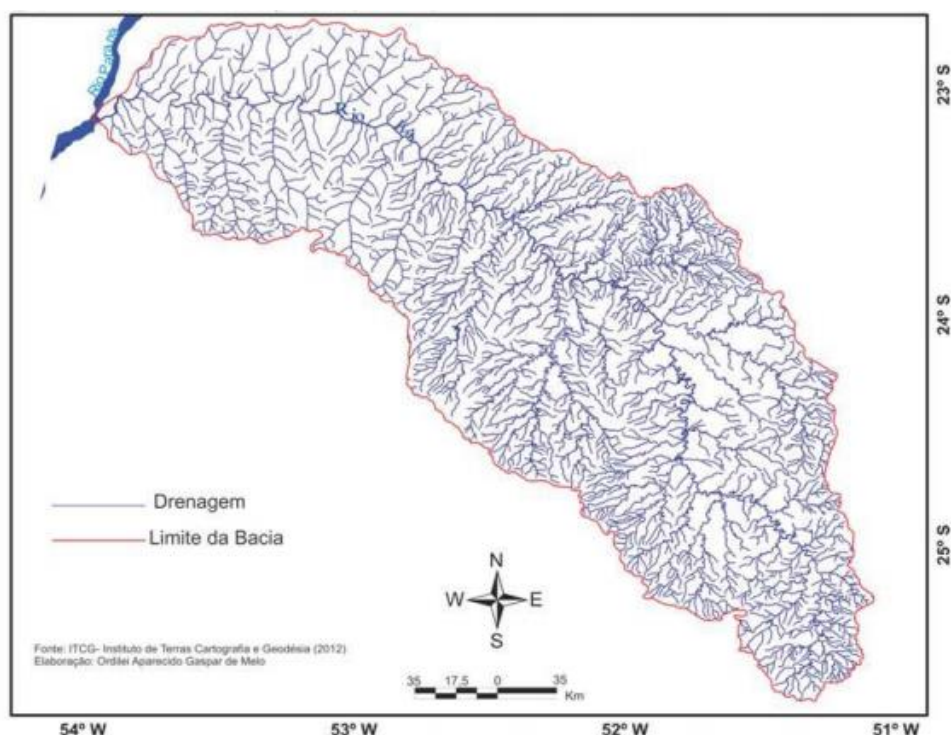
A Bacia hidrográfica é uma área natural de captação da água de precipitação e convergência para o mesmo ponto. É composta, basicamente, por superfícies vertentes de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem no exutório (SILVEIRA, 2001).

A delimitação da área de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos para estudos ambientais e/ou hidrológicos e para isso tem sido comum o uso de Sistemas de Informações geográficas para o levantamento de parâmetros geomorfológicos que serão usados nesses estudos (GARBRECHT e MARTZ, 1999 Apud. Cardoso,2006).

Para SANTANA (2003), podemos conceituar bacia hidrográfica como uma área geográfica natural, delimitada pelos pontos mais altos do relevo, dos quais a água da chuva é drenada superficialmente por um curso d'água até a saída, no ponto mais baixo da bacia, a foz. A inadequada ocupação das Bacias Hidrográficas gera uma deterioração dos recursos naturais, devido ao uso inadequado do solo e em desrespeito total quanto à aptidão do uso da terra (DILL, 2007).

Uma vez definidos os limites de uma bacia hidrográfica podemos determinar muitos parâmetros, como tamanho, elevação máxima, mínima e média; distribuição das elevações, perímetro, forma e rede de drenagem. Esses parâmetros são importantes para basear medidas de controle e manejo da bacia hidrográfica em questão (SANTANA, 2003). A figura 1 apresenta um exemplo de limite de bacia hidrográfica.

Figura 1 - Exemplo de bacia Hidrográfica – Rio Ivaí – PR



Fonte: MELO (2017)

3.2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A cobertura da terra pode ser definida pelos atributos da superfície e a subsuperfície do solo como a biota, solo, topografia, água superficial e subterrânea e as estruturas humanas ali presentes. O uso do solo, por sua vez, entende-se como a maneira e o propósito pelos quais o homem explora a cobertura de solo (NOGUERA, 2006).

A rápida e constante transformação do mundo provoca alterações constantes no meio ambiente, assim como a degradação de vegetação nativa e ecossistemas, alterações no regime hídrico, redução na biodiversidade, entre outros. As formas de uso e cobertura podem ser classificadas conforme o tipo de uso, e descritas por mapas de uso e cobertura e percentual de área ocupada (SANTOS, 2004).

As mudanças no uso e cobertura do solo são provenientes de ações naturais e antrópicas, mas as atividades antrópicas são responsáveis pela maior parte dessas mudanças no solo (SALAZAR, 2015).

Para Noguera (2006), a mudança na cobertura do solo é a substituição parcial ou completa do tipo de cobertura por alguma cultura diferente, enquanto mudança no uso do solo seriam os diferentes usos que se pode adotar com o tempo, para determinado espaço de solo.

Entre 2000 e 2016 o Brasil perdeu mais de 7,5% da sua vegetação florestal, isso mostra como o interesse no uso do solo tem mudado ao longo do tempo, como em 2016 houve um aumento em 3% nas áreas agrícolas, em relação a 2014 (IBGE,2016).

No estudo de Costa (2015), sobre a correlação entre cobertura vegetal e os processos erosivos conclui-se que ao passo que se aumenta a cobertura vegetal há uma notável diminuição da perda de solo, e isto se deve à estrutura de proteção que a vegetação fornece ao solo, diminuindo a suscetibilidade à erosão das partículas que o compõem.

O sensoriamento remoto desempenha papel fundamental na identificação dos tipos de uso do solo, já que permite o registro de dados de grandes áreas e obtenção dos respectivos mapas temáticos por meio da classificação da imagem. Uma imagem obtida pelo sensoriamento remoto contém diversas informações detalhadas da superfície terrestre, sendo um desafio fazer a exata classificação das imagens (YANG et al.,2014).

Conforme afirma Sarmiento et al. (2014), para realizar o mapeamento no sensoriamento remoto é utilizada a classificação de imagens orbitais, por análise visual ou automática, com o uso de classificadores pixel a pixel ou baseado em objetos (regiões). A classificação pode ser supervisionada, em que o usuário seleciona os pixels de amostra e atribui uma classe a este pixel, ou não supervisionada, sem amostragem, exigindo uma fase de pós-processamento para interpretar as classes geradas e atribuir a elas um rótulo.

3.3. EROSÃO DO SOLO

A erosão do solo é um processo natural, não sendo exclusivo do período atual da humanidade. A ação humana apenas acelera este processo natural, tornando-o prejudicial ao meio ambiente, afetando não só a flora das regiões como também a fauna (AMORIM *et al.*, 2010).

Frota (2012), observou que os fatores naturais determinam a intensidade dos processos, destacando-se a chuva, vento, a cobertura vegetal, o relevo, tipos de solo, o substrato rochoso. Os fatores antrópicos como desmatamento, mineração e as formas de uso e ocupação do solo deflagram o processo erosivo imediatamente ou após pequeno intervalo de tempo.

Para Amorim *et al.* (2010), os problemas de erosão do solo no Brasil e no mundo são consequências do uso desordenado e da falta de políticas voltadas para conservação e forma de exploração do solo, exploração esta que sempre ocorre de forma a não considerar a capacidade de suporte do meio ambiente.

Branco (1998), comenta que uma das principais formas de perda do solo é a erosão proporcionada pela água da chuva, a erosão hídrica, que causa a diminuição da capacidade produtiva do solo e é responsável pela produção de sedimentos na bacia.

Para Telles (2010), que buscou quantificar o custo da perda da erosão, não depende apenas da quantidade física de solo perdida, mas também dos efeitos econômicos dessas perdas.

3.4. EROSÃO HÍDRICA

A erosão pela água ocorre de forma natural em todo o mundo, porém em países tropicais esse cenário é agravado pela maior quantidade de chuvas e também pela sazonalidade das chuvas. Esse processo tende a acelerar com o avanço do desmatamento global que está acontecendo nas últimas décadas para a exploração de madeira ou exploração agrícola, assim, o solo fica desnudo e mais exposto a ação da chuva (GUERRA;JORGE, 2014).

Segundo FENDRICH *et al.* (1997), a erosão hídrica pode ser entendida como a ação das gotas de chuva atuando na superfície do solo e/ou do desprendimento de partículas de solo pela pequena lâmina de água que, como um lençol, faz desprender essas partículas, carreando-as para o corpo hídrico. Estes são os dois métodos, respectivamente chamados de erosão por embate e erosão laminar. A erosão por embate é decorrente da energia do impacto das gotas de chuva no solo, além de desintegrar parcialmente os agregados naturais, liberam também as partículas finas, projetando-as no ar. A erosão laminar é caracterizada pelo desgaste laminar causado pelas enxurradas que deslizam uniformemente sobre a superfície do solo

3.5. MORFOLOGIA DE BACIA HIDROGRÁFICA

As características morfológicas de uma bacia hidrográfica definem ou influenciam o comportamento hidrológico, como: área, forma, topografia, solo, geologia, cobertura vegetal, entre outros. Por isso, expressar as características de forma quantitativa é necessário para entender as relações entre esses fatores e os processos hidrológicos (LIMA, 2008).

A forma de uma bacia hidrográfica pode ser obtida de diferentes formas quantitativas, sendo elas o coeficiente de forma (Kf) e o coeficiente de compacidade (Kc) como demonstrado nas equações 1 e 2, respectivamente, a seguir

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

$$Kc = \frac{0,282P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde

A= área de drenagem em Km²

L = Comprimento do rio mais longo em Km

P = Perímetro da bacia em Km

Um coeficiente de forma próximo ou maior que 1 indica que a bacia é arredondada, enquanto para o coeficiente de forma menor que 1 a bacia é mais alongada e neste caso menos suscetível a enchentes.

Já para o coeficiente de compacidade o valor igual a 1 demonstra uma bacia perfeitamente circular, sendo que valores acima de 1 demonstram um alongamento na bacia (NAGHETTINI, 2012).

A densidade de drenagem é outro fator quantitativo a ser estudado na bacia hidrográfica, pois, sofre a influência da geologia, topografia, do solo e da vegetação, já que está associado ao tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia, representado na equação 3 (LIMA, 2008).

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (3)$$

Onde:

L = ao comprimento de todos os cursos de água

A = área da Bacia

Valores Baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e regime de chuvas de baixa intensidade (LIMA, 2008).

Quadro 1 - Correlação dos fatores morfológicos e tendência a enchentes

| Fator | Descrição | Tendência a Enchentes |
|-------|--|---|
| Kc | Relaciona a Bacia a um Circulo | 1,00-0,75 Alta 0,75-0,50 Média <0,050 Baixa |
| Kf | Relação entre a largura e o comprimento para avaliar a geometria | 1,00-1,25 Alta 1,25-1,50 Média >1,50 Baixa |
| DD | Soma dos comprimentos dos canais, quantidade de canais por área | >5,00 Baixa 5,00-13,50 Média 13,50-155,50 Alta >155,5 Muito Alta |

Fonte: Adaptado de (Souza et al., 2017)

3.6. EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DO SOLO

A perda de solo pode ser obtida por equações empíricas, como é a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith em 1960 e revisada por seus autores em 1978 (AMARAL,2016), a equação é dada por:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (4)$$

A = perda de solo

R = fator erosividade da chuva

K = fator erodibilidade do solo

L = fator comprimento de rampa, baseado nos valores, em metros, do comprimento de rampa

S = fator declividade, baseado nos valores, em porcentagem, da declividade

C = fator uso e manejo

P = fator práticas conservacionistas

A é estimativa de perda de solo por unidade de área por unidade de tempo, expressa em $\text{ton.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

R é o fator de erosividade ($\text{MJ.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) da precipitação e é quantificada em termos de energia produzida pelo impacto das gotas de chuva juntamente com uma taxa de arraste do solo resultante do escoamento superficial. Segundo Bertoni et al. (2005), a erosividade mede o efeito de como a erosão por impacto e a turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas.

K é o fator de erodibilidade do solo ($\text{ton.h.MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$) e representa a susceptibilidade de diferentes solos serem erodidos de acordo com suas características físicas e químicas. Segundo Bertoni et al. (1975), as principais propriedades de erodibilidade do solo são as que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e a capacidade total de armazenamento de água, resistem às forças de dispersão, ao salpico, à abrasão e ao transporte por meio do escoamento.

Para Wischmeier e Smith (1978), o comprimento de rampa (L) é dado em metros, e é a medida referente do ponto de origem do caimento da água até um canal definido. O grau de declividade da encosta (S) expresso em percentual, é o índice de inclinação do terreno. Os mapas temáticos dos fatores S e L, antes obtidos

manualmente, podem ser gerados automaticamente por meio de sistemas de informações geográficas (SIG) (Bueno et al. 2011). A declividade é mais fácil de ser mensurada por meio de cartas planialtimétricas, porém, o comprimento de rampa tem alguns empecilhos ao ser obtido devido às dificuldades de operação, podendo gerar diferentes resultados, conforme o método adotado (SILVA, 2003).

C é o fator está relacionado com a cobertura vegetal, já que a vegetação atua como importante elemento de proteção do solo. O fator C geralmente é obtido a partir de experimentos que controlam todos os fatores da EUPS e visam quantificar a perda de solo conforme se muda a cobertura vegetal (NASCIMENTO et al.2014). Para este trabalho foram consultados valores de C de outros estudos como mostrados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores do fator C para certas culturas e tipos de cobertura vegetal

| Valor C | Tipo de Cobertura | Referência / média |
|---------|------------------------|-------------------------------|
| 0,0004 | Florestas | ARS, 1975 |
| 0,0002 | Florestas | Morgan, R,P,C, 1995 |
| 0,0004 | Mata nativa e ciliar | Silva et al. (2010) |
| 0,0100 | Florestas | Bertoni e Lombardi Neto, 1983 |
| 0,0050 | Florestas | SILVERTUN, 2003 |
| 0,0032 | | Média |
| 0,1107 | Cultura Permanente | ARS, 1975 |
| 0,1100 | Culturas Permanente | Shi, 2002 |
| 0,0750 | Culturas Perenes | SILVERTUN, 2003 |
| 0,2900 | Agricultura Permanente | Bertoni e Lombardi Neto, 1983 |
| 0,1464 | | Média |
| 0,2588 | Cultura temporária | ARS, 1975 |
| 0,3658 | Pastagem em Reforma | ARS, 1975 |
| 0,0500 | Pastagem degrada | Silva et al. (2010) |
| 0,1500 | Solo agrícola exposto | SILVERTUN, 2003 |
| 0,1886 | | Média |
| 0,2000 | Área Urbana | Morgan, R,P,C, 1995 |
| 0,0300 | Áreas Urbanas | SILVERTUN, 2003 |
| 0,1150 | | |
| 1,0000 | Solo exposto | Wischmeier e Smith (1978) |

P é o fator referente ao manejo de solo. Representa a razão entre a perda de solo que corresponde a uma dada prática conservacionista e aquela que ocorre para cultivos no sentido de declive máximo do terreno, ou seja, plantio morro abaixo. Os valores de P estão representados na Tabela 2.

Tabela 2– Valores de P para as práticas conservacionistas

| Praticas Conservacionistas | Valor de P |
|---|------------|
| Plantio morro abaixo | 1 |
| Plantio em contorno | 0,5 |
| Alternância de Capinas + Plantio em contorno | 0,4 |
| Cordões de vegetação permanente | 0,2 |

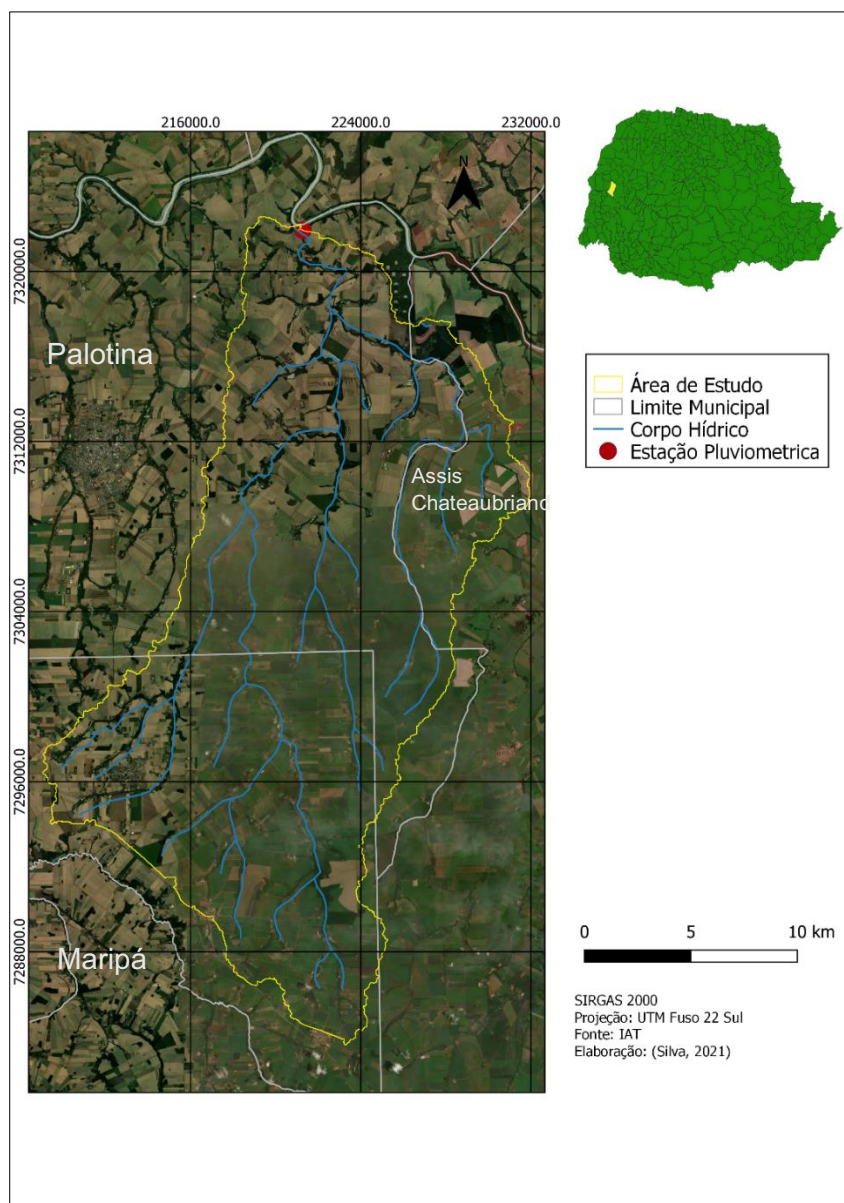
Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 2008

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica que é objeto deste estudo está situada na região centro-oeste do Estado do Paraná, entre as Latitudes de $24^{\circ}10'03''\text{S}$; $24^{\circ}33'01''\text{S}$ e longitudes $53^{\circ}53'49''\text{W}$; $53^{\circ}36'45''\text{W}$, em meio a três municípios no Estado do Paraná: Palotina, Maripá e Assis Chateaubriand, como demonstrado na Figura 2. A área de drenagem é de 432km^2 . O corpo hídrico formado pela bacia hidrográfica em estudo é denominado Rio Azul, um afluente do Rio Piquiri.

Figura 2 - Bacia Hidrográfica objeto de estudo



4.2. FATORES DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO

4.2.1. EROSIVIDADE DA CHUVA (FATOR R)

Para Wischmeier e Smith (1978), o Fator R é obtido a partir do cálculo do Índice de Energia de Chuva em 30 Minutos (EI30), porém, Lombardi Neto e Molgenhauer (1992), em seu estudo utilizaram dados de uma série histórica de 22 anos para encontrar uma regressão linear que aproximasse o valor do EI, encontrando a equação 4:

$$EI = 67,355 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,85} \quad (4)$$

Sendo:

EI = média mensal do índice de erosão, ou fator R

p = a precipitação média por mês em mm

P = precipitação média anual em milímetros

Os dados de precipitação foram obtidos a partir da base de dados da Agência Nacional das Águas (ANA) na plataforma Hidroweb. A série histórica de dados estava disponível em apenas uma estação, localizada perto ao exutório da bacia, como mostrado na figura 2.

4.2.2. ERODIBILIDADE DA SOLO (FATOR K)

Para determinação dos tipos de solo da área de estudo foi utilizado um mapa pedológico do Paraná obtido na base de dados do Instituto Água e Terra (2010). Foi feito o recorte da área da bacia para identificar as classes de solos presentes na área. Para cada solo encontrado foi utilizado uma média de valor K como demonstrado na Tabela 3. Na Tabela 4 Mannigel et al. (2002), classificou de forma qualitativa os valores de erodibilidade para melhor entendimento.

Tabela 3– Valores de K em diferentes Literaturas

| Solo | Valores de K | | | | | | Valor Final K (média) |
|----------------------------------|--------------|--|------------------------------|--------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------|
| ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico | 0,1007 | 0,0280 | 0,0228 | | | | 0,0505 |
| GLEISSOLO HÁPLICO | 0,0072 | | 0,0044 | | | | 0,0058 |
| LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico | 0,0036 | 0,0128 | 0,0071 | 0,0490 | 0,0300 | 0,0300 | 0,0078 |
| LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico | 0,0036 | 0,0098 | | 0,0490 | 0,0300 | 0,0300 | 0,0067 |
| NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico | 0,0180 | 0,0180 | 0,0104 | | | 0,0200 | 0,0155 |
| Referência | Leite(2016) | Adap- tado Graça et al. (2015) | Mannigel et al. (2002) | Denar- din (1990). | Toma- zoni e Guima- rães (2005) | Cavigli- one et al. (2010) | |

Tabela 4– Classes de erodibilidade do solo

| Classificação | Valor de K |
|-------------------|-----------------|
| Extremamente alto | >0,060 |
| Muito Alto | 0,0450 a 0,060 |
| Alto | 0,030 a 0,0450 |
| Médio | 0,0150 a 0,030 |
| Baixo | 0,0090 a 0,0150 |
| Muito Baixo | <0,009 |

Fonte: Adaptado de Mannigel at. al. (2002)

4.2.3. COMPRIMENTO DE RAMPA E DECLIVIDADE (FATORES L E S)

O cálculo do comprimento de rampa e declividade foi baseado na equação 5 proposta por Moore e Burch (1986):

$$LS = [(AS \cdot D) / 22,13]^{0,4} \cdot [\text{Sen}(\beta) / 0,0896]^{1,3} \quad (5)$$

Em que:

AS= Área do triângulo envolvente

D = Tamanho do Pixel (30m)

β = Inclinação da área em Radianos

Para obter o mapa altimétrico em ambiente SIG foram utilizados dados do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) que disponibiliza Modelo Digital de Elevação (MDE) do relevo Brasileiro, obtido em pixels com resolução espacial de 90 metros por 90 metros (MIRANDA, 2005). A partir disso foi recortado para os limites da bacia de estudo, assim como o mapa de declividade em graus e posteriormente convertido para radianos. Em seguida, utilizam-se operações de álgebra de mapas para obter o valor de LS. Seguindo Bertoni e Lombardi Neto (2010), os valores de LS são classificados como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5-Conceito da Classe LS base no seu Valor

| Classe LS | Valor (adimensional) |
|-------------------|----------------------|
| Muito Baixo | 0-1 |
| Baixo | 1-5 |
| Moderado | 5-10 |
| Alto e Muito Alto | >10 |

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2010)

4.2.4. USO E MANEJO DO SOLO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (FATOR CP)

Para este trabalho foi feito um levantamento bibliográfico e também consulta aos órgãos agropecuários do estado sobre as práticas conservacionistas. Foi considerado o fator P igual a 1 para as áreas em que não foi possível obter informações. Com o valor 1 assume-se que as práticas no local são as que mais irão impactar o meio ambiente, ou seja, o cenário mais pessimista.

Para construção do mapa respectivo ao fator C foram utilizados dados do projeto MapBiomas, que é uma iniciativa que reuniu especialistas em biomas, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação a fim de produzir mapas de alta qualidade, mais rápidos e mais baratos no que tange ao uso e ocupação do solo no Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2021).

Para cada classe de uso ou cobertura do solo foi feita a reclassificação de acordo com a Tabela 1, valores do C para cada tipo de cultura e cobertura do solo na área de estudo.

4.3. MORFOLOGIA DA BACIA

Para delimitação dos cursos hídricos a partir da delimitação da bacia foram utilizados dados vetoriais do IAT (2021), que contém os cursos d'água do estado do Paraná. Com os recursos do SIG foram feitos os cálculos de área, perímetro, extensão dos cursos da água e outros fatores utilizados nas equações 1,2 e 3 para obter os dados morfológicos da bacia.

4.4. INTEGRAÇÃO DOS FATORES DA EUPS E O POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE)

Após a criação dos mapas para os fatores individuais da EUPS foi feito um mapa de suscetibilidade a erosão, em que os valores serão comparados com o PNE, que segundo Stein et al. (1987) serve para classificar qualitativamente o maior e/ou a menor suscetibilidade de erosão de uma área, levando os fatores P práticas conservacionistas iguais a 1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. FATORES MORFOLÓGICOS DA BACIA

A área total da Bacia é de 432 km² enquanto seu perímetro é de 153 km, sendo assim, utilizando as equações 1 e 2 obtém-se os valores para o fator de forma de 0,308 e coeficiente de compacidade da bacia de 2,065, respectivamente.

Como comentado por Naghettini (2012), valores de fator de forma abaixo de 1 e compacidade acima de 1 representam uma bacia mais alongada, distanciando-se do formato circular. Esses valores indicam que a bacia é menos propensa a ter inundações e contribui para os processos de escoamento.

O valor para a densidade de drenagem utilizando a equação 3 ficou $DD=0,422$ km/km². Como especificado em Villella e Mattos (1975), valores próximos a 0,5 km/km² indicam uma bacia em que a extensão de corpos hídricos é muito inferior a área total da bacia. Com isso entende-se que a bacia é alongada e de baixo relevo e que há uma baixa quantidade de corpos hídricos que receberão o escoamento proveniente da precipitação.

5.2. FATOR R

Para o cálculo da Erosividade foram utilizados os dados de precipitação de um período de 22 anos. Na tabela 5 os dados são apresentados mostrando a amplitude e diferenças de leitura nos mesmos meses, com meses como Outubro e Dezembro com amplitude maior que 100%, justificando a tomada de dados de um período mais longo para melhor ajuste da média de precipitação.

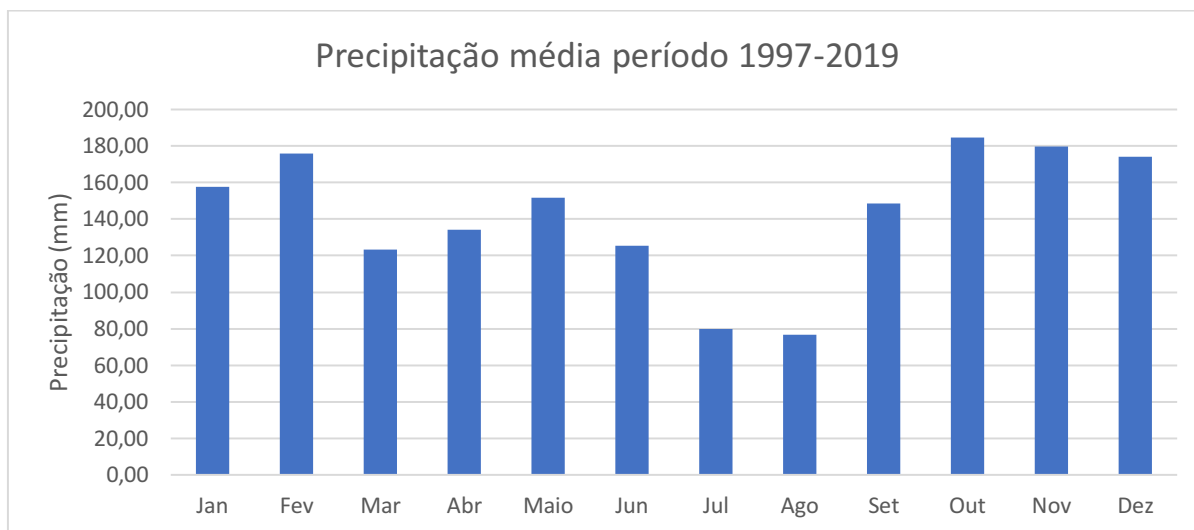
Tabela 6 – Dados de Análise de Precipitação

| Meses | Média (mm) | Desvio Padrão | Máxima (mm) | Mínima (mm) | Variação absoluta | Coeficiente de Variação |
|-------|------------|---------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------------|
| Jan | 157,81 | 54,46 | 269,00 | 81,60 | 29,66 | 0,35 |
| Fev | 175,99 | 89,98 | 339,60 | 12,00 | 80,96 | 0,51 |
| Mar | 123,22 | 80,02 | 393,40 | 36,20 | 64,03 | 0,65 |
| Abr | 134,21 | 90,06 | 335,40 | 13,60 | 81,10 | 0,67 |
| Maio | 151,55 | 92,94 | 332,20 | 2,10 | 86,37 | 0,61 |
| Jun | 125,29 | 91,53 | 337,00 | 1,50 | 83,78 | 0,73 |
| Jul | 79,92 | 77,66 | 383,60 | 0,00 | 60,32 | 0,97 |
| Ago | 76,68 | 74,88 | 272,10 | 1,40 | 56,08 | 0,98 |
| Set | 148,59 | 97,67 | 377,70 | 25,10 | 95,39 | 0,66 |
| Out | 184,66 | 111,40 | 493,40 | 45,20 | 124,09 | 0,60 |
| Nov | 179,69 | 94,45 | 421,80 | 39,90 | 89,21 | 0,53 |
| Dez | 174,24 | 112,82 | 486,40 | 20,60 | 127,28 | 0,65 |
| Soma | 1711,85 | 1067,87 | 4441,60 | 279,20 | 978,27 | 0,62 |
| Média | 142,65 | 88,99 | 370,13 | 23,27 | 81,52 | 0,62 |

Fonte: Autoria Própria

A variação de precipitação mensal no período de 22 anos fica expressa graficamente na Figura 3, sendo os meses de maior precipitação Outubro e Novembro e os de menor precipitação Julho e Agosto, caracterizando meses de outono e inverno menos chuvosos e primavera e verão mais chuvosos.

Figura 3- Média de precipitação no período de 1997-2019



Fonte: Autoria Própria

O cálculo do fator R utilizando a equação 4 (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992) gerou os resultados da Tabela 7.

Tabela 7– Valores médios de R para de cada Mês e média Anual

| Mês | Fator R (MJ.MM.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹) |
|-------------------------|---|
| Jan | 5420,72 |
| Fev | 6524,66 |
| Mar | 3559,48 |
| Abr | 4115,88 |
| Maio | 5060,26 |
| Jun | 3661,73 |
| Jul | 1705,07 |
| Ago | 1589,23 |
| Set | 4893,40 |
| Out | 7080,47 |
| Nov | 6759,56 |
| Dez | 6414,75 |
| Média Anual de R | 4732,10 |

Fonte: Autoria Própria

A média anual para a região de estudo ficou abaixo do encontrado em outras bibliografias como em Waltrick *et al.* (2015), que obteve para a cidade de Palotina o valor R de 10436 e para Assis Chateaubriand de 10982. Isto pode se dar pelo fato de ter sido utilizada uma única fonte de dados pluviométricos, da estação localizada no

exutório da bacia, ou ainda por serem de diferentes períodos. O valor obtido foi utilizado como uma constante para aplicação da EUPS.

5.3. FATOR K

Foram encontrados os respectivos solos de acordo com o IAT como apresentado na figura 6 em proporções mostradas na Tabela 8. Os valores de erodibilidade foram pesquisados em bibliografias cuja área de estudo eram regiões próximas e/ou com pedologia parecida com a área de estudo, sendo o resultado obtido de acordo com a figura 7.

O Latossolo vermelho eutroférico típico representa 53,21% da área, é um solo mineral, profundo (normalmente maior que 2m), apresentam estrutura granular muito pequena, teor de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% a 80%, de acordo com a tabela 9, se enquadra em um solo Argiloso ou vezes muito argiloso. Encontrado geralmente em regiões planas.

O Latossolo Vermelho Distrófico tem as mesmas características do Latossolo Vermelho Eutroférico é um solo de baixa fertilidade, apresentando menor quantidade de Matéria Orgânica no horizonte B.

O Argissolo Vermelho Eutroférico é encontrado em uma pequena parte da área de estudo, na região com maior inclinação, onde é naturalmente encontrado, solo de alta fertilidade e com grandes quantidades de ferro na sua superfície, mesmo sendo um solo argiloso contém uma diferença textura em seus horizontes que dificulta a infiltração de água, deixando-o suscetível erosão

Nitossolo Vermelho também é um solo mineral, com textura argilosa media, tem um horizonte B nítico abaixo do Horizonte A, por estas características é um solo com uma baixa erodibilidade, tanto o Típico quanto o Latossolico(SANTOS *et al.*, 2018)

O gleissolo háplico se encontra restrito a uma pequena região perto ao exutório. Essa classe de solo é caracterizada por ser hidromórfica, ou seja, apresenta saturação de água. (LEITE, 2016)

Tabela 8– Proporção pedológica da Bacia

| Solo | ÁREA | % |
|---|--------------------------|-------|
| NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO TÍPICO | 123.2660 km ² | 28,53 |
| NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO LATOSSOLICO | 35.0128 km ² | 8,10 |
| LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO TÍPICO | 229.8690 km ² | 53,21 |
| LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO | 4.4935 km ² | 1,04 |
| LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO HÚMICO | 14.8206 km ² | 3,43 |
| GLEISSOLO HÁPLICO | 13.8710 km ² | 3,21 |
| ARGISSOLO VERMELHO EUTRÓFICO TÍPICO | 11.5573 km ² | 2,68 |

Fonte: Aatoria Própria

Tabela 9-Textura do solo de acordo com a composição

| Textura | Teor de Argila, Silte, Areia |
|----------------|--|
| Arenosa | Teor de Areia > 700g.kg ⁻¹ |
| Média | Argila < 350g.kg ⁻¹ e Areia > 150g.kg ⁻¹ |
| Argilosa | Argila entre 350g.kg ⁻¹ a 600g.kg ⁻¹ |
| Muito Argilosa | Argila > 600g.kg ⁻¹ |
| Siltosa | < 350g.kg ⁻¹ de argila e 150g.kg ⁻¹ de areia |

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2018

Figura 4- Pedologia da área de estudo

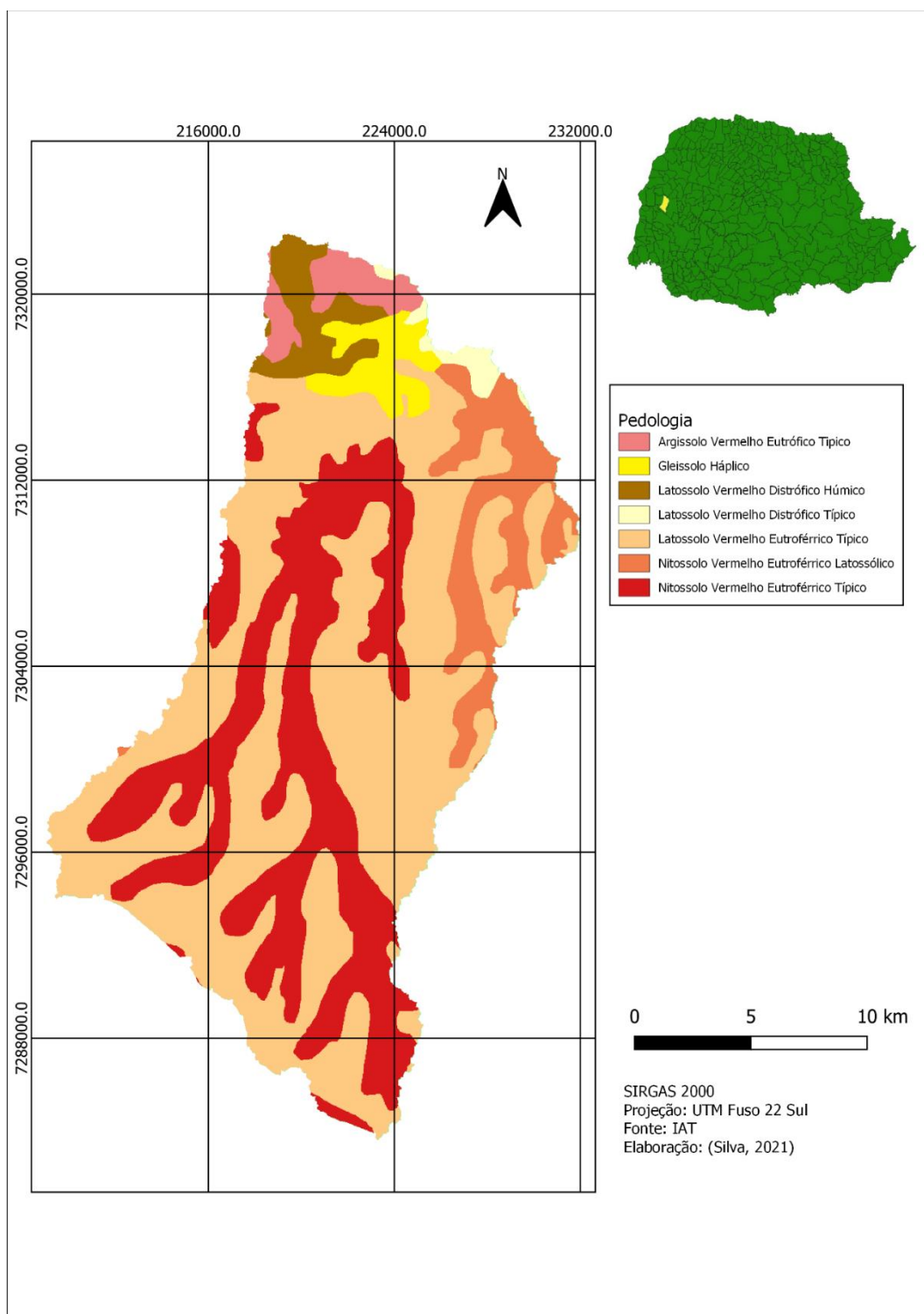
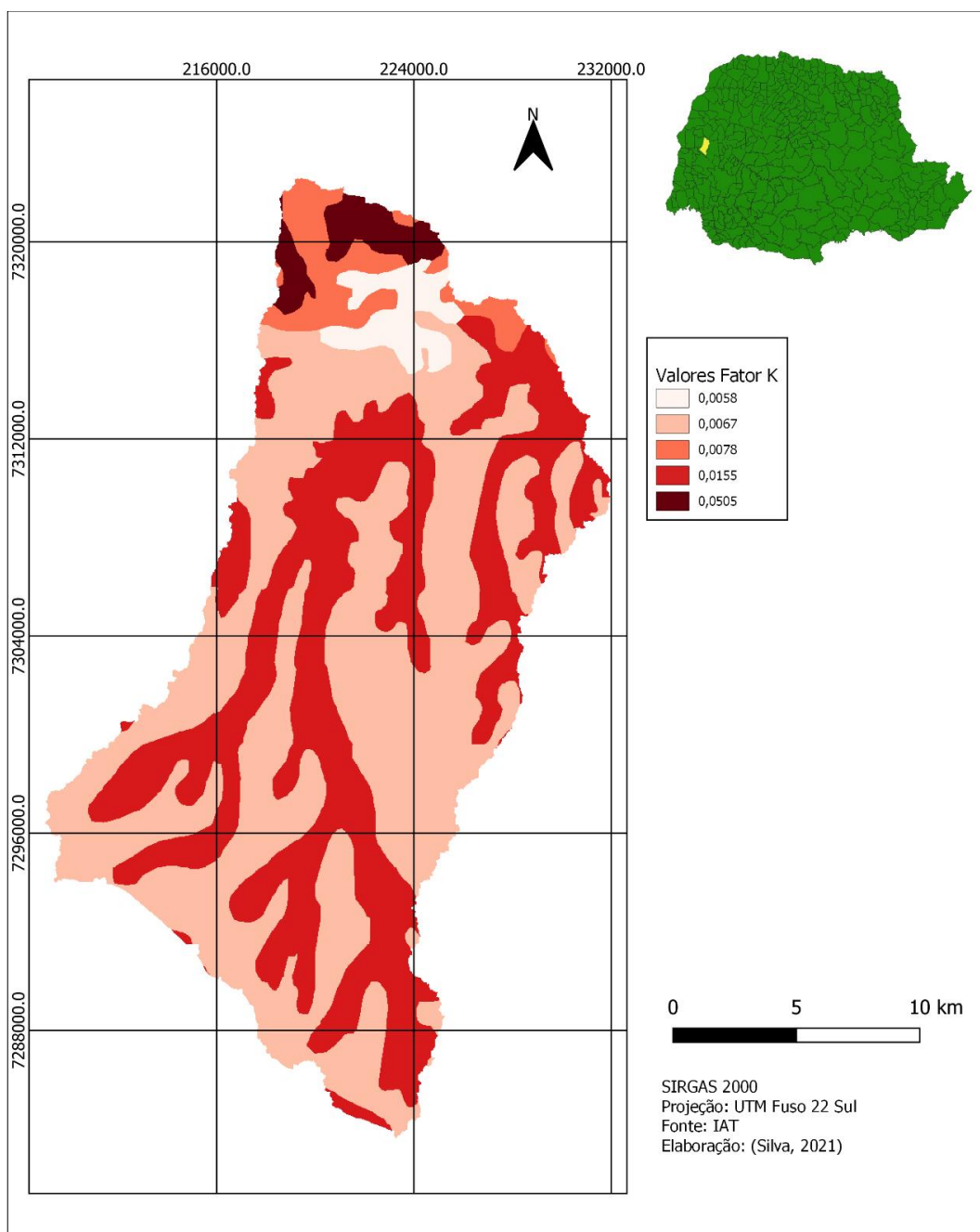


Figura 5- Classificação dos Valores do fator de K



De acordo com a Tabela 5 a bacia apresenta características de erodibilidade em sua maior parte como baixa, porém, a região que contém Nitossolo Vermelho está com valor médio para erodibilidade.

Segundo José Guerra e Sandra Cunha (1994) a erosão é afetada pela textura do solo já que algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente que outras. As argilas tem como característica a difícil infiltração de água e por outro lado também são as mais difíceis de remoção. O solo de média erodibilidade na bacia é o Nitossolo Vermelho Eutroférico Típico, que apresenta alta teor de areia em sua composição, tendo maior suscetibilidade a erosão.

5.4. FATOR LS

De forma geral a declividade da bacia é mais acentuada nas proximidades dos corpos hídricos, como é mostrado na figura 6, corroborando o valor de densidade de drenagem considerado baixo, mostra que a bacia não tem uma quantidade muito grande de declives e assim não contém muitos corpos hídricos.

O fator de compactidade nos mostra que a bacia é longa e distante da forma do círculo, o que condiz com os pontos de maior declividade apenas nas encostas e declividade ainda mais acentuada perto do exutório.

Figura 6- Mapa de declividade da área de estudo

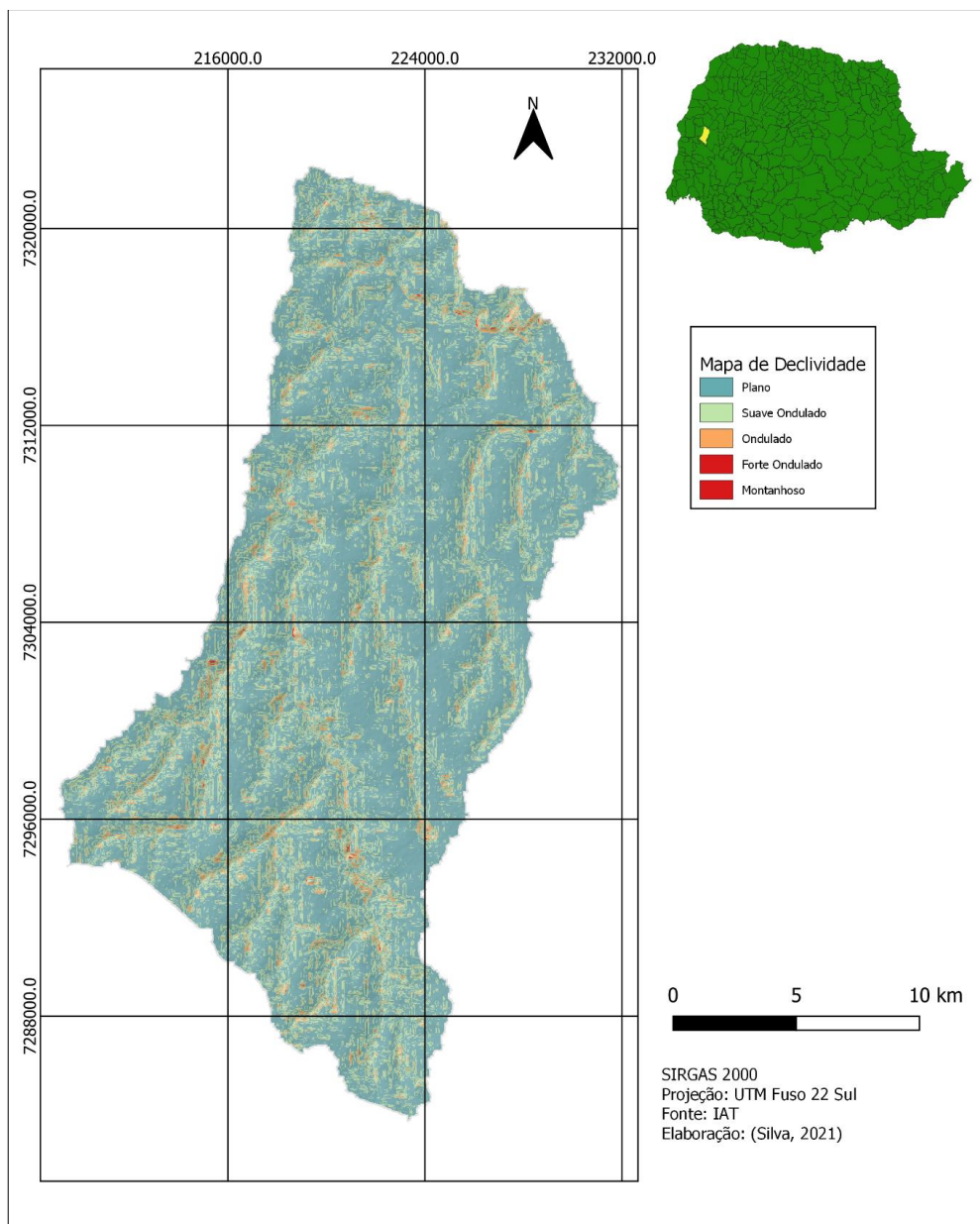
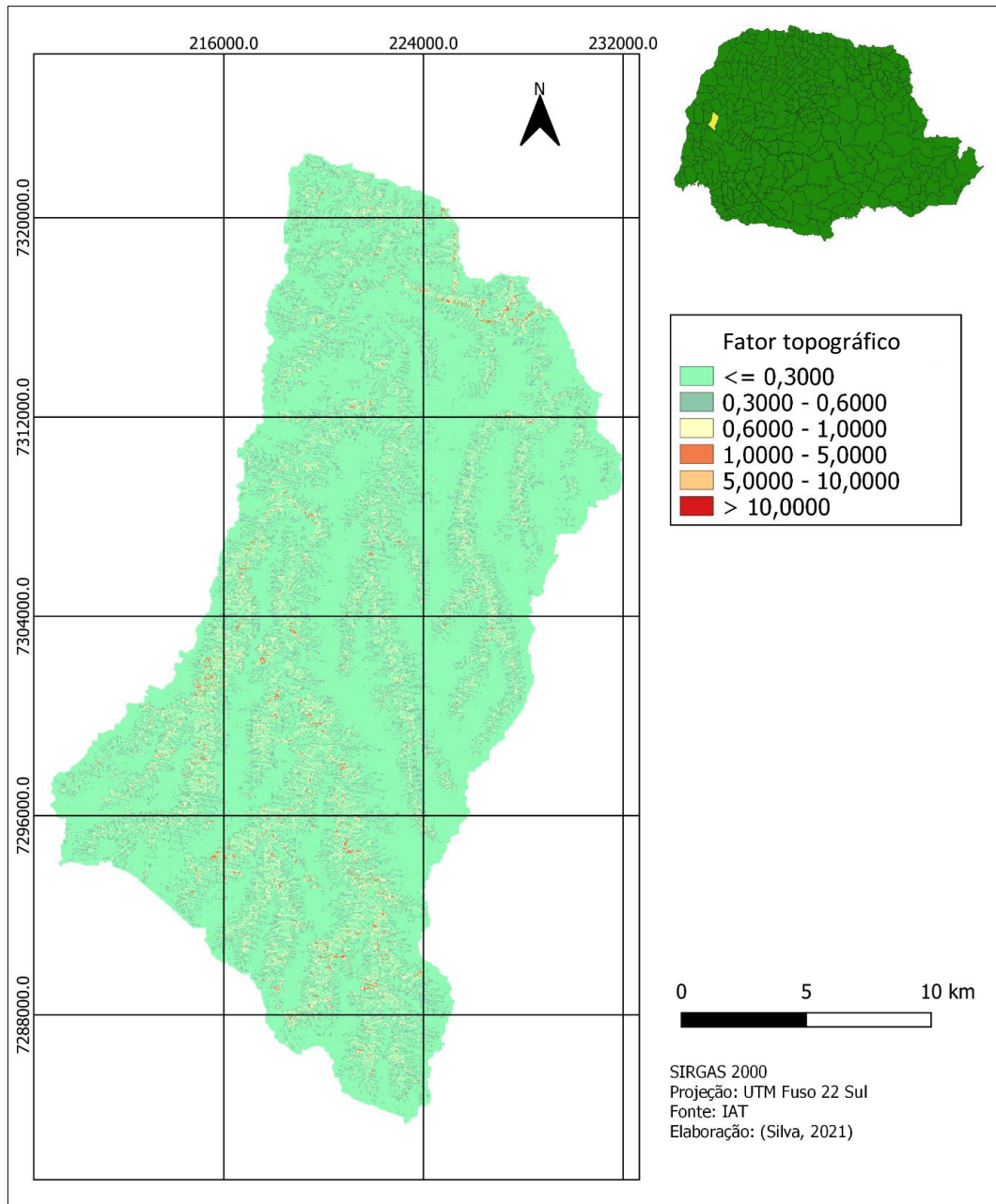


Figura 7- Mapa de distribuição fator LS



Na bacia hidrográfica predominam os valores do fator LS próximo a 1, como é mostrado na figura 7, os valores mais altos são encontrados próximos aos cursos de água da bacia, regiões onde se tem mata ciliar predominante de acordo com o mapa de uso e ocupação do solo, não sendo o ponto principal de preocupação de perda de solo.

5.5. FATOR CP

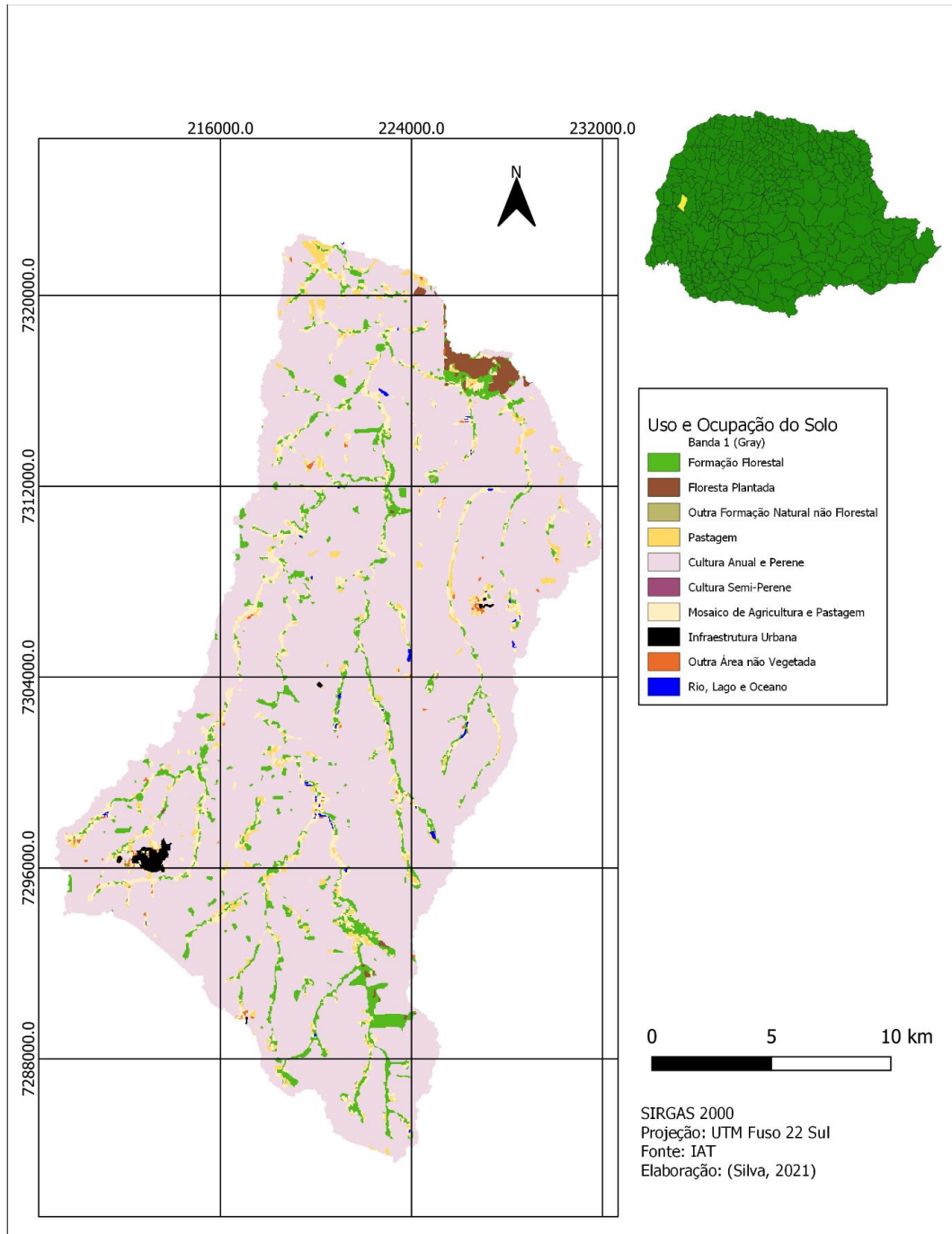
No quadro 2 é possível ver a distribuição do uso do solo na região de estudo como classificado no Projeto MapBiomass, em que 85% da área é agrícola de cultura Anual e Perene, correspondendo a principal atividade econômica da região. A segunda classe que mais contribui em área é um mosaico de agricultura e pastagem, seguindo a pastagem como terceiro que mais contém área de ocupação. A figura 6 em conjunto com a figura 8 demonstram que as culturas estão em locais de baixa declividade, fazendo que o fator P, práticas conservacionistas, tenha um valor igual a 1.

Quadro 2 - Uso e Ocupação do Solo

| | Área (km ²) | Área(%) |
|-----------------------------------|-------------------------|----------|
| Cultura Semi-Perene | 0,0027 | 0,0006 |
| Outra formação não florestal | 0,0738 | 0,0171 |
| Rio, Lago e Oceano | 0,6543 | 0,1514 |
| Outra Área não vegetada | 0,9567 | 0,2214 |
| Infraestrutura Urbana | 1,4139 | 0,3272 |
| Floresta Plantada | 3,4336 | 0,7947 |
| Pastagem | 8,9786 | 2,0780 |
| Formação Florestal | 22,3046 | 5,1623 |
| Mosaico de Agricultura e Pastagem | 26,2318 | 6,0712 |
| Cultura Anual e Perene | 368,0201 | 85,1760 |
| Total | 432,0702 | 100,0000 |

Fonte: Autoria Própria

Figura 8– Uso e Ocupação do Solo



5.6. MAPA DE PERDA DE SOLO

A região que apresentou maior tendência perda de solo foi próximo ao exutório da bacia onde o solo característico da região é o Argissolo Vermelho Eutrófico Típico, que tem o maior valor de K (0,0505) é também tem maiores valores de LS.

Como BERTONI e NETO (2008) constataram, solos mais argilosos tem maior facilidade de infiltração de água e conseqüentemente menor desprendimento de partículas a serem carreadas, porém, não somente a característica física do solo caracteriza uma maior perda de solo por erosão, a matéria orgânica e a formação dos horizontes são partes fundamentais em como a água ir infiltrar ou não, se haverá maior desprendimento das partículas de solo. O Argissolo Vermelho Eutrófico tem um valor de erodibilidade mais elevado justamente por ter a característica argilosa, porém com formação de horizontes que facilitam o desprendimento de partículas na superfície.

Além do tipo de solo, o fator de rampa e declividade (L e S) mostraram forte correlação com a perda de solo na região com maior propensão a erosão na bacia, perto ao exutório. Isso ocorre pois a erosão hídrica vai ter maior influência nestas regiões de maior declividade. A topografia do terreno influencia diretamente na quantidade de material em suspensão a ser carregado pela água da chuva, dependendo da velocidade em que ela escorre, e essa velocidade é um resultante do comprimento de rampa e a declividade do terreno (BERTONI; NETO, 2008)

Guerra (2014), explica que a forma com que a chuva incide sobre a superfície influencia o desprendimento de partículas de solo, por isso é importante as práticas conservacionistas e de culturas anuais para diminuir o impacto das gotas de chuvas que podem incidir diretamente no terreno.

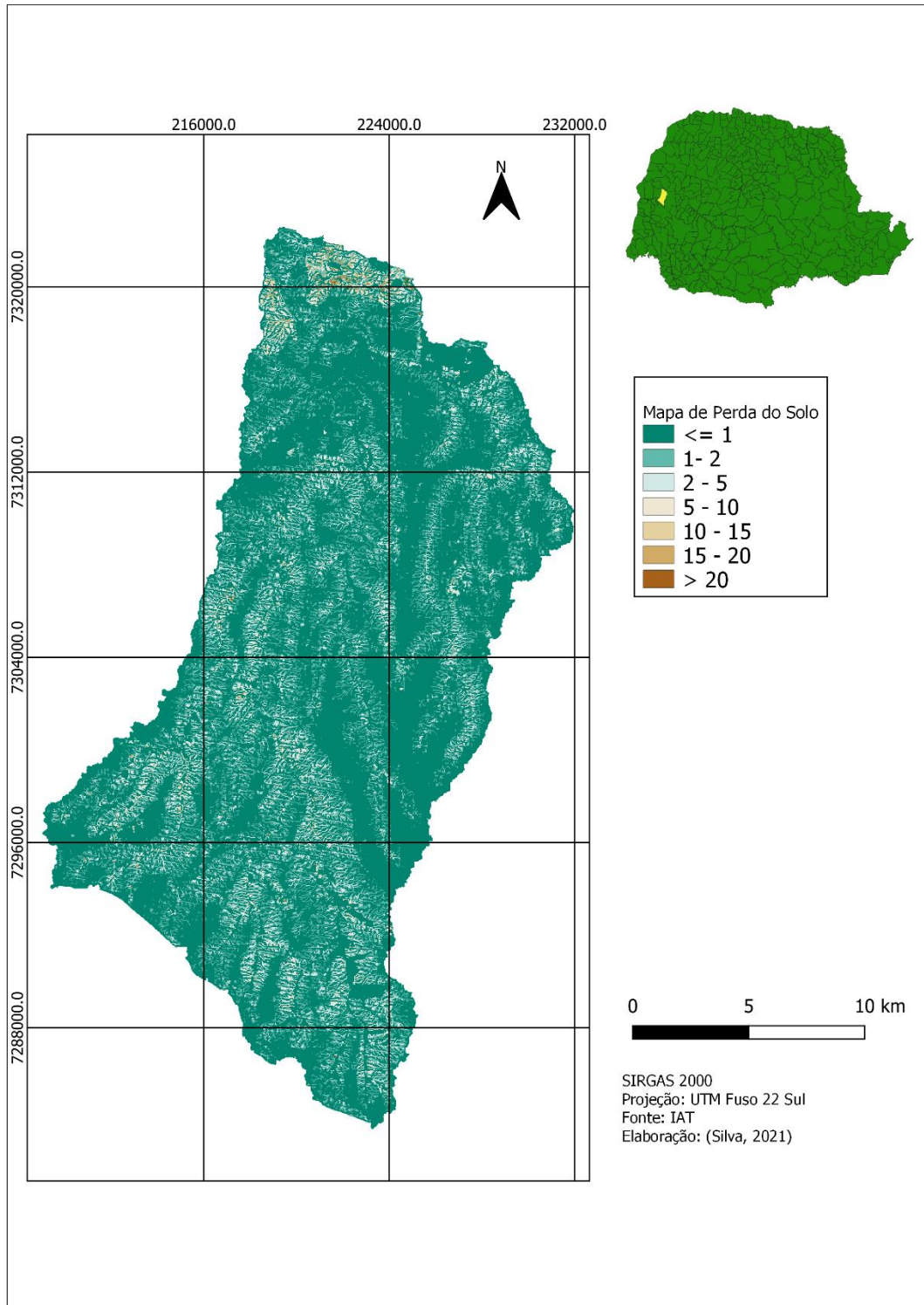
Quadro 3 – Intensidade e perda de solo relativa à área

| Classes (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) | Área (ha) | Área relativa (%) | Perdas médias (t.ano ⁻¹) |
|--|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| Até 0,5 | 24111,50 | 55,64 | 6027,87 |
| 0,5 – 1,0 | 3088,98 | 7,13 | 2316,73 |
| 1 - 3,0 | 10098,10 | 23,30 | 20196,21 |
| 3 – 5,0 | 3400,66 | 7,85 | 13602,62 |
| 5 - 10,0 | 1999,05 | 4,61 | 14992,85 |
| 10 – 20 | 494,38 | 1,14 | 7415,76 |
| 20 – 30 | 111,42 | 0,26 | 2785,58 |
| Maior que 30 | 33,30 | 0,08 | 1165,53 |
| Total | 43337,39 | 100,00 | 68503,15 |

Fonte: Autoria Própria

A maior parte da área da bacia, 93,92%, está com um valor de perda de solo entre 0,5t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 5t.ha⁻¹.ano⁻¹ resultando em uma área acumulada de 40699,24ha, enquanto os valores de perda de solo acima de 5t.ha⁻¹.ano⁻¹ representam 6,09% da área total, em área acumulada de 2638,15 há. Isso mostra que há alguns pontos em específicos da bacia que precisam de atenção no que condiz com a perda de solo por erosão hídrica, pois, a média de perda de solo por hectare é de 1,58t.ha⁻¹.ano⁻¹ para a bacia hidrográfica, mostrando que há uma distribuição variada de perda de solo. Tais resultados estão de acordo com os dados de morfologia da bacia e de declividade como já citados, porém, com pontos específicos que tem um grande valor de perda de solo.

Figura 9– Mapa de perda do Solo (classes em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$)



6. CONCLUSÃO

A perda de solo na bacia se mostrou uniforme se comparado a sua média, tendo uma área de 62,77% com uma perda de solo abaixo da média da bacia, e 23,30% entre 1,5 e 3 t.ha⁻¹.ano⁻¹, com um total de 86,07% dos valores próximo a média de 1,58 t.ha⁻¹.ano⁻¹. As regiões que estão com maiores propensões a perda de solo são regiões com declividade e fator de rampa altos e conseqüentemente, também a erodibilidade mais alta. A quantidade de solo perdida por metro quadrado na área de estudo ficou em 150g.m⁻², sendo um valor baixo para perda de solo

Verificou-se ainda que:

- O manejo do solo pode alterar também quimicamente as características do solo e isto afeta, também, a suscetibilidade à perda de solo de determinada região;
- As práticas de plantio podem reduzir a quantidade de matéria orgânica no solo, que também é um fator que é correlacionado com a perda de solo por erosão, por isso é importante a fiscalização das práticas conservacionistas, visto que a agricultura e pastagem são as principais atividades da região;
- A Erodibilidade do Solo (fator K) foi o principal agente de erosão por carreamento para esta bacia, por isso, é importante o estudo mais preciso dos solos da região para um melhor entendimento de como o solo se dispõe ao longo da bacia;

RECOMENDAÇÕES

- É importante ressaltar que o mapeamento da diversidade de culturas na região, que poderia ser considerado no fator manejo do solo (C), bem como as práticas conservacionistas, seriam importantes para refinar as estimativas apresentadas neste trabalho, mas possivelmente exigiriam levantamentos em campo. Recomenda-se a obtenção destes dados em trabalhos futuros.

- A variação pluviométrica é um indício de que se faz necessário também um estudo temporal da erosão na bacia, pois a variação de alguns meses atingiu mais que 100%. Além disso, em trabalhos futuros é importante considerar outras estações, principalmente à montante da bacia e trabalhar com técnicas de preenchimento de falhas para os dados ausentes.

REFERÊNCIAS

ALEWELL, C. *et al.* Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International Soil and Water Conservation Research**, [s. l.], v. 7, n. 3, 2019.

AMARAL, B. S. D. Do. **Análise espacial das perdas de solo no Estado da Paraíba**. 2016. Monografia (Bacharel em Geografia)-59 f. João Pessoa, 2016.

AMORIM, R. F. **Potencialidade à degradação na microbacia Riacho Passagem/RN**. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Cultura e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

AMORIM, Ricardo S. S. et al . **Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil**. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal , v. 30, n. 6, p. 1046-1049, Dec. 2010 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000600006&lng=en&nrm=iso>. access on 26 Mar. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000600006>.

BRANCO, N. **AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DE EVENTOS CHUVOSOS EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL DE ENCOSTA**. 1998. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Mariana, Rio Grande do Sul, 1998.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo**. 6. ed. São Paulo: Icone, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. & BENATTI JR, R **Equação de perdas de solo**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1975. 23p. (Boletim técnico, 21)

BUENO, Celia Regina Paes; ARRAES, Cristiano Luna; MIQUELONI, Daniela Popim. Application the geographic information system for the determination of topographic factor in a watershed. **Applied Research & Agrotechnology**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 30-47, dec. 2011. ISSN 1984-7548. Available at: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1368/1403>>. Date accessed: 15 aug. 2021. doi:<https://doi.org/10.5777/paet.v4i2.1368>.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, vol. 30, 2006. apud GARBRECHT, J.; MARTZ, L.W. Digital elevation model issues in water resources modeling. ESRI, USERS CONFERENCE, 19., 1999, San Diego.

Proceedings... San Diego: 1999. CD-ROM.

CAVIGLIONE, J. *et al.* **ESPAÇAMENTOS ENTRE TERRAÇOS EM PLANTIO DIRETO**. [S. l.: s. n.], 2020.

COSTA, Y, T.; RODRIGUES, S, C. (61 - 75) **RELAÇÃO ENTRE COBERTURA VEGETAL E EROÇÃO EM PARCELAS REPRESENTATIVAS DE CERRADO** Rev. Geogr. Acadêmica v.9, n.2 (xii.2015)

DAIBERT, J.D.; SANTOS, P.R.C.D. **Análise dos Solos - Formação, Classificação e Conservação do Meio Ambiente**. Editora Saraiva, 2014. 9788536521503. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521503/>. Acesso em: 16 Apr 2021

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. Luís; ZIMBACK, C. R. L.. **ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS POR EROÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS PEROBAS (SP) NOS ANOS 1962 E 2011**. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, [S.l.], v. 46, n. 1, p. 110-131, mar. 2019. ISSN 2177-2738. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/56746/37858>>. Acesso em: 25 mar. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v46i1.56746>.

DENARDIN, J. E.; FREIRE, O.; **Erodibilidade do solo estimada por meio de parametros fisicos e quimicos**. 1990. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DILL, P. R. J. **Gestão ambiental em bacias hidrográficas**. Orientador: Osvaldo König. 2007. 147 p. Tese de Doutorado (Doutorado Engenharia Agrícola) - Doutorado, Rio Grande do Sul, 2007.

FENDRICH, R. *et al.* **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 1997. v. 1

FROTA, P V. **Potencial de erosão na Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE**. 2012. xvii, 179 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

GRAÇA, C. H. *et al.* Multitemporal analysis of estimated soil loss for the river Mourão watershed, Paraná – Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.], v. 75, n. 4 suppl 2, 2015.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 15. ed. [S. l.: s. n.], 1994. v. 1

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. v. 1

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A Sistematização dos Fatores da EUPS em SIG para Quantificação da Erosão Laminar na Bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 57/03, 2005. Disponível em: < http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1286/1/ESTGEO_Tomazoni,%20Julio%20Caetano_2005.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021

IAT – Instituto Água e Terra. **Mapa Geológico do Estado do Paraná**. 2021. Disponível em: < <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos> > Acesso em: 15.20.2021

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Série Manuais Técnicos em Geociências, n.º 7. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 91p.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil** . 1. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2018. v. 1

JAZOULI, A EL. *et al.* Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). **Geoscience Letters**, [s. l.], v. 4, n. 1, 2017.

LEITE, D. S. **MAPEAMENTO DA ERODIBILIDADE E EROSIVIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO – OESTE DO PARANÁ**. Tese de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental.2016. 57 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Medianeira, 2016.

LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Meno de Bacias Hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: USP, 2008. v. 1

NETO, F. L.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, [s. l.], v. 51, n. 2, 1992.

MANNIGEL, A. *et al.* Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s. l.], v. 24, 2008.

MELO, O. O MODELO HIDROLÓGICO SWAT APLICADO À ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO IVAÍ-PR. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, [s. l.], v. 18, p. 1–19, 2017.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 15 Abr. 2021

NAGHETTINI, M. **Introdução a Hidrologia Aplicada**. In: Belo Horizonte: [s. n.], 2012. v. 1, p. 1–268.

NASCIMENTO, A. T. P. do; PEREIRA, B. S.; M., P. He. A. **REVISÃO DOS VALORES DO FATOR DE COBERTURA VEGETAL DA USLE PARA CONDIÇÕES BRASILEIRAS**. ANAIS DO XI ENES 2014, [s. l.], 1 dez. 2014. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/170/08041b314cea05484b0b2177ca298f00_159794c4ce4e2d169eed6b089d9dfc0b.pdf. Acesso em: 16 abr. 2021.

NOGUERA, S. P. **Modelagem da Dinâmica de Desmatamento a diferentes escalas espaciais na Região nordeste do Estado de Mato Grosso**. 2006. 124 f. Dissertação (Mestrado em Capacidade de suporte, Ecologia animal, Ecologia vegetal, Ecossistemas, Interação inseto-planta, Lim) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2006.

PEREIRA, J. S. **Avaliação das Perdas de Solos por Erosão Laminar na Área de Influência da UHE Amador Aguiar I**. 2014. 167 p. Dissertação – Programa de PósGraduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16206/1/AvaliacaoPerdasSolos.pdf>>. Acesso em: 24.04.2021

PHAM, T. G.; DEGENER, J.; KAPPAS, M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, [s. l.], v. 6, n. 2, 2018.

Projeto MapBiomass – **Coleção 5**, da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 24 de Abril de 2021 através do link: <https://mapbiomas.org/>

SALAZAR, J. P. C (2015). **Determinação de cenários futuros de uso e cobertura do solo e sua influência na vulnerabilidade ambiental: o caso do Município de Formosa – GO**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM – 175/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p.sa

SINGH, G.; PANDA, R. K. Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India. **International Soil and Water Conservation Research**, [s. l.], v. 5, n. 3, 2017.

SANTANA, D.P **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas** 1. Ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: [s. n.], 2018. v. 1

SARMIENTO, C. M. et al. **Comparação dos classificadores supervisionados na discriminação de áreas cafeeiras em Campos Gerais**. *Coffee Science*, Lavras, v. 9, n. 4, p. 546-557, out./dez. 2014.

SILVA, V. C. da. **Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Rio Paracatu**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.33, n.1, p.29-34, 2003

SILVEIRA, A.L.L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. São Paulo: EDUSP, 2001. p 40

SOUZA, Camila Furlan De *et al.* **CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ - PARANÁ**. *Geoambieten on-line*, v. 1, p. 93–110, jul. 2017.

Stein, D.P.; Donzelli, P.; Gimenez, A.F.; Ponçano, W.L.; NETO F. L. 1987. **Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema**. In: **Simpósio Nacional De Controle De Erosão**, 4, Marília, 1987. Anais, Marília, p. 105-135.

TELLES, T. S.; **Os custos da Erosão do Solo**. 2010. 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual de Londrina - Centro de Ciências Agrárias. Londrina,2010.

RUTHES, J. M.; TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.; GOMES, T. C.. **Quantificação da Erosão Laminar na Bacia Do Rio Catorze, Sudoeste do PR, Através de**

Técnicas de Geoinformação. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, p. 13-18, 18 abr. 2013.

VILLELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill, 1975. v. 1

WALTRICK, P. C. *et al.* ESTIMATIVA DA EROSIDADE DE CHUVAS NO ESTADO DO PARANÁ PELO MÉTODO DA PLUVIOMETRIA: ATUALIZAÇÃO COM DADOS DE 1986 A 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 39, n. 1, 2015.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH D. D. Use and misuse of the universal soil-loss equation. **Journal of soil and Water Conservation.** US Department of Agriculture Handbook, n.537, 58 p. 1978

YANG, B. *et al.* **Automatic classification of remote sensing images using multiple classifier systems.** **Mathematical Problems in Engineering**, Cairo, v. 2015, p. 1-10, 2014.