



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ADÉLIO BRUNO BASTOS BARBOSA

**SIG NA AVALIAÇÃO DA EROSIÃO HÍDRICA NA BACIA DO RIO
CAPIM, PARÁ**

BELÉM
2023

ADÉLIO BRUNO BASTOS BARBOSA

**SIG NA AVALIAÇÃO DA EROSIÃO HÍDRICA NA BACIA DO RIO
CAPIM, PARÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia: área de manejo e conservação de recursos naturais.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Suzana Romeiro Araújo

**BELÉM
2023**

RESUMO

A transição de vegetação nativa para sistemas agrícolas na Amazônia pela intensificação das atividades agropecuárias tem resultado em processos de perda de solo por erosão hídrica. Na Bacia Hidrográfica do Rio Capim, na Amazônia Oriental, as atividades agropecuárias ocupam 44,33% do solo na região, equivalente a 2.200.361 de hectares, que podem ter a sua capacidade produtiva reduzida devido à erosão. Os modelos matemáticos de estimativas da erosão são reconhecidos como importantes ferramentas para o planejamento agrícola e ambiental. Objetivou-se com este estudo estimar a perda de solo por erosão hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, utilizando a versão Revisada da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). A área de estudo está localizada na região Nordeste do Estado do Pará e em parte do Maranhão e possui uma área de de 37.262 Km². A Variável R (Erosividade) foi calculada através das medições históricas de 2001 à 2021 nas estações meteorológicas ao longo da Bacia Estudada, enquanto as variáveis LS foram obtidas com a utilização de imagens de satélite para determinação de Modelo Digital de Elevação (MDE). O fator K (Erodibilidade do solo) foi determinado a partir de uma revisão bibliográfica e o fator C.P foi calculado através da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo. Os resultados classificam a erosão da área estudada com grau suave a moderado cujo valor de perda de solo correspondeu a 3,2318 t/ha.ano, em que os fatores com maior contribuição para este resultado foram a erodibilidade e a declividade do terreno. A identificação dos diversos usos do solo fez com que o Fator C.P. e o L.S. fossem determinantes na identificação das regiões sul e oeste como as mais suscetíveis a erosão. Acredita-se que estes resultados possam nortear a compreensão dos processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Capim, identificando as principais interferências antrópicas que potencializam este processo, bem como demonstrar a importância do planejamento do uso e ocupação do solo e de adoção de técnicas adequadas de manejo visando a sustentabilidade do uso das terras.

Palavras-chave: EUPS; MDE; Processo Erosivo; Amazônia oriental.

ABSTRACT

The transition from native vegetation to agricultural systems in the Amazon due to the intensification of agricultural activities has resulted in soil loss processes through water erosion. In the Capim River Basin, in the Eastern Amazon, agricultural activities occupy 44.33% of the land in the region, equivalent to 2,200,361 hectares, which may have their productive capacity reduced due to erosion. Mathematical models for estimating erosion are recognized as important tools for agricultural and environmental planning. The objective of this study was to estimate soil loss due to water erosion in the Capim River Basin, using the Revised version of the Universal Soil Loss Equation (EUPS). The study area is located in the Northeast region of the State of Pará and part of Maranhão and has an area of 37,262 km². The Variable R (Erosivity) was calculated through historical measurements from 2001 to 2021 at meteorological stations throughout the studied Basin, while the LS variables were obtained using satellite images to determine the Digital Elevation Model (DEM). The K factor (Soil Erodibility) was determined from a literature review and the C.P factor was calculated through the preparation of the land use and occupation map. The results classify the erosion of the studied area as mild to moderate, with a soil loss value corresponding to 3.2318 t/ha.year, where the factors with the greatest contribution to this result are the Erodibility factors and the slope of the terrain. The identification of the different land uses made the C.P. Factor and the L.S. were decisive in identifying the southern and western regions as the most susceptible to erosion. It is believed that these results can guide the understanding of erosion processes in the Capim river basin, identifying the main anthropogenic interferences that enhance this process, as well as demonstrating the importance of planning land use and occupation and adopting appropriate management techniques. management aimed at sustainable land use.

Keywords: RUSLE; MDE; Erosion Process; Eastern Amazon.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Visualização dos <i>layers</i> aplicados ao banco de dados de um SIG..... | 14 |
| Figura 2 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Pará, Brasil..... | 26 |
| Figura 3 - Fluxograma metodológico..... | 28 |
| Figura 4 - Localização das Estações Pluviométricas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Estado do Pará, Brasil..... | 29 |
| Figura 5 - Mapa de Localização das Sub-Bacias do Rio Capim, localizado no Estado do Pará, Brasil, proposto por Lima e Ponte..... | 33 |
| Figura 6 - Distribuição média mensal da pluviosidade em mm nos municípios circundantes a Bacia do Rio Capim entre os anos de 2001 e 2021..... | 37 |
| Figura 7 - Valor mensal de erosividade da Bacia do Rio Capim calculado de 2001 a 2021 em MJ.mm/ha.h.ano..... | 38 |
| Figura 8 - Mapa de Erosividade da chuva da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, localizada no Estado do Pará, Brasil..... | 39 |
| Figura 9 - Relação da Pluviosidade com a Erosividade ao longo dos meses na Bacia Hidrográfica do Rio Capim..... | 40 |
| Figura 10 - Mapa dos tipos de solos identificados na Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Pará, Brasil..... | 41 |
| Figura 11 - Mapa de declividade para determinação do fator LS na Bacia do Rio Capim, Pará Brasil..... | 44 |
| Figura 12 - Valores obtidos com o MDE da Bacia do Rio Capim, localizada no Pará, Brasil..... | 45 |
| Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Capim, com recorte na região norte, onde há predominância de pastagem, Pará, Brasil..... | 48 |
| Figura 14 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Capim, com recorte na região sul Pará, Brasil..... | 49 |
| Figura 15 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Capim, com as Terras Indígenas..... | 50 |
| Figura 16 - Mapa de uso de identificação das Classes de CP..... | 51 |
| Figura 17 - Mapa de Erosão do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Pará, Brasil..... | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Valor P para as práticas conservacionistas mais utilizadas no Brasil de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010)..... | 23 |
| Tabela 2 - Identificação e localização da Estações pluviométricas utilizadas no estudo com as respectivas médias anuais de precipitação..... | 30 |
| Tabela 3 - Valores encontrados por Moraes & Sales para o fator K no estudo de estimativa de erosão dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Gurguéia..... | 32 |
| Tabela 4 - Valores compilados e extraídos de pesquisas para identificação do Fator CP..... | 36 |
| Tabela 5 - Classificação do índice médio mensal de erosividade a <i>International Soil Reference and Information Center</i> em 1996..... | 40 |
| Tabela 6 - Solos encontrados na Bacia do Rio Capim com os respectivos de valores de K, segundo Moraes & Sales..... | 42 |
| Tabela 7 - Classificação dos valores de Erodibilidade do Solo segundo Carvalho (1994) e Foster (1981)..... | 43 |
| Tabela 8 - Valores de declividade, comprimento da rampa e fator LS da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Pará, Brasil..... | 45 |
| Tabela 9 - Identificação do tipo de uso do solo ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Capim para identificação do Valor de CP conforme Referências..... | 52 |
| Tabela 10 - Classificação de desempenho, segundo índices Kappa..... | 53 |
| Tabela 11 - Classes qualitativas de perda do solo segundo Avanzi <i>et al.</i> (2013)..... | 55 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 7 |
| 2.1 Objetivos específicos | 9 |
| 2.2 Hipótese | 9 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 10 |
| 3.1 Erosão hídrica | 10 |
| 3.2 Práticas conservacionistas do solo | 11 |
| 3.4 Ferramentas de sensoriamento remoto no estudo da erosão hídrica | 13 |
| 3.5 Equação Universal da Perda do Solo (EUPS) | 15 |
| 3.5.1 Fator R – Erosividade das chuvas | 17 |
| 3.5.2 Fator K – Erodibilidade do Solo | 19 |
| 3.5.3 Fator LS – Topográfico | 21 |
| 3.5.4 Fator CP – Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)..... | 22 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 4.1 Caracterização da área de estudo | 25 |
| 4.2 Obtenção e processamento de dados | 27 |
| 4.3 Cálculo das variáveis da Equação Universal de Perda do Solo | 28 |
| 4.3.1 Erosividade das chuvas (Fator R)..... | 29 |
| 4.3.2 Erodibilidade do Solo (Fator K)..... | 31 |
| 4.3.3 Fator Topográfico - LS..... | 32 |
| 4.3.4 Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P) – Fator CP..... | 34 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 5.1 Fator R: Erosividade | 37 |
| 5.2 Fator K: Erodibilidade | 40 |
| 5.3 Fator LS: Comprimento da Rampa e Declividade | 43 |
| 5.4 Fator CP: Uso do Solo e Práticas Conservacionistas | 46 |
| 5.6 Erosão hídrica do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Capim | 53 |
| 6 CONCLUSÃO | 56 |
| REFERÊNCIAS | 57 |

1 INTRODUÇÃO

A exploração racional e ambientalmente correta de recursos naturais, a sustentabilidade da produção e os mecanismos de desenvolvimento limpo são temas cada vez mais discutidos no desenvolvimento agropecuário do Brasil (EMBRAPA, 2019). Nesse sentido, o uso do solo com preparo excessivo, utilização de defensivos agrícolas e fertilizantes, bem como monocultivos, degradação das pastagens e os impactos na qualidade ambiental, verificados no solo, são aspectos que chamam atenção quando se analisa sustentabilidade (TAMBOSI *et al.*, 2015).

A Região Amazônica apresenta uma das mais dinâmicas florestas tropicais do mundo, onde o processo de desmatamento tem produzido diferentes mudanças de uso do solo, principalmente pelo desenvolvimento da agricultura e da pecuária em larga escala (ARMENTERAS *et al.*, 2019). As pastagens constituem a mais extensa área ocupada na Amazônia, sendo 38 milhões de hectares de pastos não degradados e 10 milhões degradados (REBELLO *et al.*, 2011).

A transição de vegetação nativa para sistemas agrícolas na Amazônia, pela intensificação das atividades agropecuárias e em moldes de monocultivo que normalmente são cultivados em grandes áreas, têm resultado em processos de desequilíbrio e degradação ambiental, perda da fertilidade e compactação (COSTA *et al.*, 2018). Além disso, observam-se perdas de biodiversidade acima e abaixo do solo e degradação das bacias hidrográficas (SOUZA *et al.*, 2017).

Segundo Gama (2000), a consolidação de atividades produtivas em determinadas áreas na Amazônia são modificações que podem ser percebidas com maior evidência, em especial, no Estado do Pará. Há aproximadamente quatro décadas, este Estado sofre profundas intervenções em relação à ocupação de seu espaço e dos sistemas produtivos implantados, em específico na região de integração do rio Capim, que compreende os municípios de Abel Figueiredo, Aurora do Pará, Bujaru, Capitão Poço, Concórdia do Pará, Dom Eliseu, Garrafão do Norte, Ipixuna do Pará, Irituia, Mãe do Rio, Nova Esperança do Piriá, Ourém, Paragominas, Rondon do Pará, Tomé-Açu e Ulianópolis (RODRIGUES *et al.*, 2003). De acordo com o Relatório Anual do Desmatamento no Brasil do MapBiomas (2020) as atividades agropecuárias na Amazônia Oriental, especificamente na Bacia Hidrográfica do Rio Capim, ocupam 44,33% do solo na região, equivalente a 2.200.361 de hectares.

Em consequência de manejos inadequados que causam a exposição, a compactação e desagregação do solo, há um aumento nos processos erosivos (CASTRO; LIMA, 2006). Deve-se direcionar de forma adequada o tipo de manejo adotado nas áreas agrícolas, visando a conservação do solo (ZONTA, 2012). Sabe-se que a identificação e a quantificação de áreas erodidas, aliadas aos sistemas de gerenciamento de banco de dados e do processamento digital de imagens, auxiliam nas tomadas de decisões referentes ao planejamento de uso da terra (MACHADO, 2013).

Existem vários métodos para avaliar a erosão, sendo algumas formas morosas e com acurácia menor (CASTILLO *et al.*, 2012). Os métodos diretos para determinação da erosão hídrica necessitam de experimentos permanentes com coletas contínuas de dados. Deste modo, os modelos matemáticos de estimativas da erosão visam diminuir estas limitações e são reconhecidos como importantes ferramentas para o planejamento agrícola e ambiental (BARROS *et al.*, 2018). O modelo mais conhecido e utilizado na estimativa de erosão é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), desenvolvida Wischmeier & Smith (1978), cujas variáveis são a erosividade da chuva (R), a erodibilidade do solo (K), o comprimento de rampa (L) e declividade do terreno (S), o uso e manejo do solo (C) e as práticas conservacionistas (P).

A EUPS, quando associada ao Sistema de Informação Geográfica e ao Sensoriamento Remoto, possibilita a realização de modelagem da erosão hídrica e a visualização da sua distribuição temporal e espacial na bacia hidrográfica. Além disso, permite a identificação de áreas prioritárias para ações de conservação do solo (BARROS *et al.*, 2018; GAŠPAROVIĆ *et al.*, 2018).

Considerando a abrangência e os diferentes usos do solo em uma bacia hidrográfica, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto é imperativa no monitoramento das mudanças na cobertura vegetal, fornecendo informações em larga escala que permitem a identificação de alterações na paisagem por meio da análise de componentes agrometeorológicos, como índice de vegetação e evapotranspiração (GOMES, 2012; LILLESAND *et al.*, 2015).

Deste modo, considerando a ocupação da Bacia do Rio Capim por atividades agropecuárias e o fato desta estar inserida na região considerada por anos como arco do desmatamento, somado aos elevados índices pluviométricos e declividade regional, torna-se relevante a realização de estudos de suscetibilidade erosiva e a identificação de possíveis modificações no uso e cobertura da terra e as suas dinâmicas na região.

2 OBJETIVO GERAL

Objetiva-se estimar a perda de solo por erosão de áreas da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, localizada no Nordeste Paraense, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (EUPS) e ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

2.1 Objetivos específicos

- Avaliar como os fatores antrópicos e naturais contribuem para a suscetibilidade erosiva na Bacia Hidrográfica do Rio Capim, através de mapa de perda de solo.
- Gerar um mapa de perda de solo por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Capim.

2.2 Hipótese

O uso e manejo da terra influenciam a perda de solo por erosão hídrica. É possível estimar a quantidade de solo perdido por erosão hídrica laminar em áreas da Bacia Hidrográfica usando ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Erosão hídrica

O processo erosivo corresponde ao desprendimento das partículas do solo em decorrência de ações naturais, podendo ser provocado por origem eólica ou hídrica e é um dos principais fatores causadores da degradação do solo (ZIA-UR- REHMAN *et al.*, 2016). Para a erosão acontecer, é necessário que a força natural imposta ao solo supere a sua máxima pressão cisalhante (VARGAS, 1989), de modo que, uma vez iniciado o desprendimento das partículas, as outras etapas da erosão consistem no transporte dos sedimentos pela ação da gravidade e sua deposição no ponto mais baixo da região (PES ZUCUNI; GIACOMINI, 2017). Tal processo ocorre de forma natural e, geralmente, de maneira lenta e gradual, afetando diversas formas de relevo terrestre (BASHIR *et al.*, 2017).

O processo erosivo pode ser acelerado pela interferência antrópica no ambiente, causada, principalmente pela remoção da cobertura vegetal natural, o que expõe a estrutura do solo à ação da água da chuva e dos ventos. A estrutura do solo torna-se especialmente vulnerável a depender do tipo de solo, dos índices pluviométricos regionais e da declividade do terreno, ocasionando a aceleração no processo erosivo (GONÇALVES, 2008). As consequências ambientais da erosão hídrica são muitas, tais como perda da capacidade produtiva e compactação do solo, a alteração na qualidade das águas com o aumento da turbidez (ZONTA, 2012), dentre outras.

A erosão hídrica pode ser classificada em laminar, sulcos e voçorocas. A erosão laminar é o estágio inicial e mais suave da erosão hídrica, nesse processo, uma fina camada de solo é removida de maneira uniforme e suave pela água que flui sobre a superfície do terreno, é o tipo de erosão que não é tão perceptível, porém com o tempo pode resultar na perda significativa de solo (POESEN, 2011). Conforme a erosão laminar evolui, podem se formar sulcos na superfície do solo, estes são canais estreitos e mais profundos, sendo um tipo de erosão mais visível e com maior potencial de causar danos, como perda de nutrientes e degradação do solo (CANTALICE *et al.*, 2005; BEZERRA *et al.*, 2010). Já a erosão em voçorocas é o estágio mais avançado e destrutivo da erosão hídrica, onde os sulcos se expandem e se aprofundam ainda mais, formando grandes canais em forma de ravina, que popularmente são conhecidas como voçorocas. Essa erosão é frequentemente associada a terrenos íngremes e chuvas intensas, as ravinas podem ter efeitos devastadores, causando a perda de solo, alterações no curso dos rios e destruição de

áreas agrícolas e ecossistemas (BALDASSARINI, 2013; SILVA, 2018; ZANINI; RIBEIRO, 2021).

A causa e a extensão da erosão acelerada do solo são influenciadas por determinados fatores e os mais significativos são: Erodibilidade ou suscetibilidade do solo a forças erosivas, conforme determinado por propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CANTALICE *et al.*, 2005; BEZERRA *et al.*, 2010); Erosividade ou energia do agente de erosão; características da inclinação, comprimento e forma do terreno; e também uso e manejo da cobertura do solo (MORGAN, 2005). Dentre as ações antrópicas que aceleram o processo erosivo, a atividade agrícola é considerada como um dos principais agentes deflagradores da erosão (VALLE JUNIOR, 2008).

Nesse contexto, existe uma forte correlação entre o uso e manejo do solo com a sua proteção ou degradação, de modo que a utilização intensiva do solo pode reduzir a fertilidade, aumentar a compactação e diminuir sua capacidade de infiltração e armazenamento de água. Tais fatores são os responsáveis por proporcionar condições favoráveis à instalação de processos erosivos (PANACHUKI *et al.*, 2006). Em contrapartida, existem as práticas conservacionistas, que trazem soluções de proteção do solo frente à ação dos fatores potencializadores e visam minimizar e mitigar a erosão (CARMO *et al.*, 2015).

Besen *et al.* (2018) afirmaram que as práticas conservacionistas fomentam o uso racional do solo e da água, tornando a sua conservação um fator palpável e imprescindível, de modo que alcançam tanto a gestão dos recursos hídricos quanto a redução de custos dos produtores rurais, ou seja, as adoções das melhores práticas de manejo são fundamentais na minimização dos efeitos negativos resultantes das atividades agrícolas sobre o ambiente (CREPANI *et al.*, 2008).

3.2 Práticas conservacionistas do solo

Quando o assunto é minimização dos impactos ambientais negativos oriundos das atividades agrícolas, Lepsch (2010) afirma que a adoção de práticas conservacionistas são de fundamental importância para a diminuição de processos erosivos, sendo elas de caráter vegetativo, quando buscam a proteção do solo com o aumento da sua cobertura vegetal; de caráter edáfico, quando melhoram a fertilidade do solo e de caráter mecânico, quando fazem a conservação do solo com proteções por máquinas que alteram o relevo. Destas, as vegetativas são reconhecidas por terem melhor estratégia de mitigação da erosão e promovem a

sustentabilidade agrícola (SMITH *et al.*, 2018) de modo que, ao implementar esta prática, a vegetação atua como uma barreira natural que reduz a velocidade do escoamento superficial e minimiza o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo (RABELO *et al.*, 2009). Além disso, as raízes das plantas aumentam a coesão e a estabilidade do solo, facilitando a sua retenção e evitando processos erosivos (MONTGOMERY, 2007). A cobertura vegetativa também contribui para a infiltração da água no solo, melhorando a sua capacidade de armazenamento da mesma e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (HAGEN, 1996). Esses benefícios combinados resultam em uma abordagem altamente eficaz na proteção do solo contra a erosão, preservando sua qualidade e fertilidade de maneira sustentável. São exemplos de práticas vegetativas: o florestamento e o reflorestamento; formação e manejo de pastagens, quando bem estabelecidas; cultivos em faixa; controle de capinas; uso de plantas de cobertura; cordões de vegetação permanente e cobertura morta (RABELO *et al.*, 2009; SMITH *et al.*, 2018).

As práticas edáficas, por outro lado são fundamentais para a conservação e melhoria da qualidade do solo, sendo um dos pilares da gestão sustentável da terra (GUPTA; LARSON, 2019). Brady e Weil (2008) discutem a importância da matéria orgânica no solo, enfatizando seu papel como essencial na melhoria da fertilidade do mesmo e na promoção da retenção de nutrientes. Além disso, a utilização de técnicas de manejo que visam a minimização da compactação do solo, bem como a análise regular das propriedades do solo, permitem tomadas de decisão rápidas na implementação dessas práticas, tornando seus resultados eficazes. Têm-se como exemplo de práticas edáficas comuns o controle do fogo, adubações (inclusive a calagem) e rotação de culturas. Nesse contexto, Vieira *et al.* (2000) destacam a importância da matéria orgânica no solo influenciando a sua porosidade e conseqüentemente a capacidade de reter água.

Já as práticas conservacionistas de caráter mecânico fazem uso de medidas artificiais para modificar o relevo, promovendo a diminuição da velocidade do escoamento superficial, com a facilitação da infiltração do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Lal (1995) discutiu o uso destas práticas de conservação mecânica para mitigar a erosão do solo e promover a sustentabilidade agrícola em ambientes tropicais e temperados. Estas práticas, tais como, terraceamento e curvas de nível, necessitam de maiores investimentos financeiros e, geralmente, são indispensáveis quando se deseja utilizar com segurança terrenos declivosos (LEPSCH, 2010). De-Miguel e Sanchez (2014) conduziram um estudo sobre a erosão do solo em campos cultivados com terraços sob diferentes regimes de chuva e gradientes e observaram

que o terraceamento é uma prática de conservação do solo eficaz nos diferentes ciclos de chuva. Sabe-se que os resultados são mais eficientes e abrangentes na proteção do solo quando práticas conservacionistas são realizadas de forma combinada, como, por exemplo, Karlen e Stott (1994) que exploraram várias práticas de conservação do solo, incluindo abordagens mecânicas, vegetativas e químicas, de modo a destacar seu papel na gestão da erosão e na melhoria da qualidade do solo. Já Bationo e Mokwunye (1991) abordaram o conceito de *alley farming*, uma prática que combina culturas agrícolas com árvores, demonstrando como as práticas de conservação vegetativa podem ser implementadas em conjunto. Smith *et al.* (2020) afirmam que a combinação de estratégias como rotação de culturas, plantio direto, terraceamento, cobertura vegetal permanente e outras demonstram resultados significativos na redução da erosão e na manutenção da fertilidade do solo. Essas práticas não apenas fortalecem a saúde do solo, mas também contribuem para a produção agrícola sustentável de longo prazo, garantindo que as gerações futuras possam continuar a utilizar e desfrutar das terras férteis que existem hoje. Portanto, a combinação inteligente de técnicas de conservação do solo possui papel fundamental na promoção da sustentabilidade agrícola e na proteção do mesmo (GUPTA; LARSON, 2019).

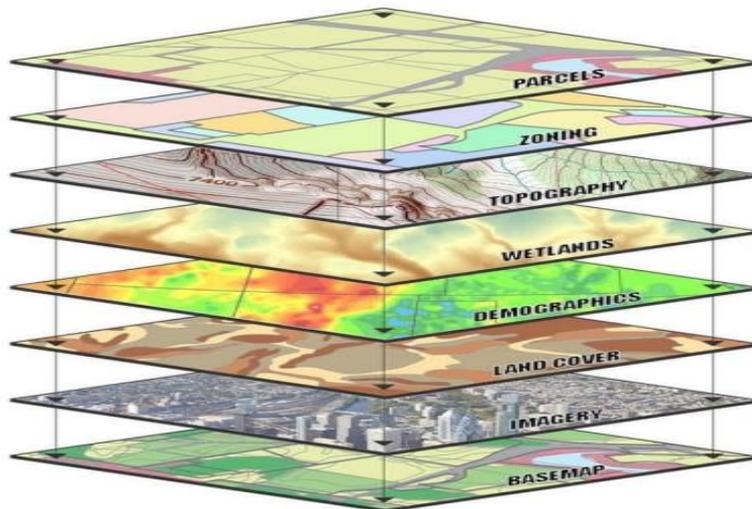
3.4 Ferramentas de sensoriamento remoto no estudo da erosão hídrica

As ferramentas dos Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) têm sido cada vez mais utilizadas na análise e gerenciamento de recursos naturais, além de possuírem um amplo uso no que tange planejamento ambiental, pois demandam uma diversidade de informações e dados espaciais (SIQUEIRA, 2019). Muitos trabalhos utilizam o SIG como principal abordagem na análise e integração de planos de informações que auxiliam no planejamento e tomada de decisões em diferentes escalas e abordagens, como, por exemplo, no diagnóstico ambiental das áreas, bem como na preservação de desastres e planejamento urbano e rural (GOMEZ, 2012). Dessa forma o Sistema de Informações Geográficas é, atualmente, um dos meios mais rápidos e eficazes no apontamento do diagnóstico de áreas sensíveis, pois, consegue armazenar, gerenciar, criar e processar diversos planos de informações de forma simultânea (SIQUEIRA, 2019).

De acordo com Moraes e Sales (2006), uma das principais formas de apresentação e composição dos dados em uma plataforma de SIG é a compilação em camadas. Estas camadas representam cada um dos componentes do ambiente, incluindo os corpos hídricos, vegetação,

solo, relevo, modelos do terreno entre outros aspectos naturais ou antrópicos relativos à área analisada, conforme Figura 1.

Figura 1- Visualização dos *layers* aplicados ao banco de dados de um SIG



Fonte: USGS (2016).

Dentre as várias vertentes de utilização do SIG, destaca-se o estudo realizado por Aiello *et al.* (2015) que avaliaram as perdas de solo utilizando modelos empíricos com a utilização de produtos do SR e SIG em uma bacia hidrográfica. Os resultados desse estudo mostram que, mesmo com grandes extensões, a modelagem pode ser uma importante ferramenta no planejamento ambiental, facilitando o gerenciamento e fornecendo opções para formuladores de políticas para a gestão de riscos causados pela erosão do solo (FRANKENBERGER; HUANG; NOUWAKPO, 2008).

Apesar dos modelos aplicados para grandes áreas serem desafiantes por causa da grande quantidade de dados necessários para processar, o uso de imagens de satélites de média resolução espacial mostram-se eficientes e apropriadas para estimativas de perdas de solos pela erosão (AIELLO *et al.*, 2015). Déstro e Campos (2006), segue na mesma linha quando trata o conhecimento e integração dos elementos que compõem o meio ambiente e paisagens, como a geologia, os solos, a vegetação e o relevo contribuem para a análise e definição de zonas semelhantes no planejamento e gestão do território e uso racional de recursos naturais, dentre eles o solo.

Entre os dados obtidos com as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, tem-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), sendo dividido em Modelo Digital de Superfície

(MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT). O Modelo Digital de Superfície (MDS) é a representação matricial da topografia, da vegetação e tudo que está acima do terreno, em que cada célula ou pixel possui um valor que indica a altitude média naquela posição. Os MDEs são ferramentas usadas na geociência, capazes de representar valores altímetros do terreno (CARMO *et al.*, 2015; CHAVES, 2017). De modo geral, a geração dos mapas de MDE são obtidos através de interpolação matemática dos dados adquiridos, de modo que, com advento e o avanço da computação gráfica, essa interpolação vem utilizando métodos baseados em triangulação e tem trazido melhorias na apresentação da situação real da área, quando comparado com o método de interpolação em uma base quadrática (LI; ZHU; GOLD, 2005).

Por outro lado, quando o modelo retrata somente o relevo da paisagem, ele é considerado um Modelo Digital do Terreno (MDT). São utilizadas diversas técnicas na aquisição de um MDT, como interpolação de curvas de nível; vetorização de cartas topográficas do IBGE; coleta de pontos em campo e posterior interpolação; sensores orbitais como *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) e o uso de radar *Light Detection and Ranging* (LIDAR) (CAVALCANTE, 2019).

Como grande parte do território brasileiro é mapeado por escalas bem generalistas na utilização das informações do meio ambiente e topografia, pode-se considerar os dados adquiridos pela SRTM a melhor informação já disponibilizada para grande parte do território do Brasil, pois entrega dados com uma resolução de 12,5 metros gratuitamente (JUNIOR, 2019).

3.5 Equação Universal da Perda do Solo (EUPS)

A empregabilidade dos modelos matemáticos norteia a compreensão e análises dos processos de erosão hídrica e seus impactos ao meio ambiente oriundos desta ação (MATOS, 2015). Chaves (1994) destaca que os modelos matemáticos podem ser empíricos, mecânicos e estocásticos. A Equação Universal da Perda de solo (EUPS) é um modelo empírico que busca estimar as perdas anuais de solo de uma determinada área (Equação 1), ocasionadas por erosão hídrica laminar, a partir da integração de fatores naturais e antrópicos do solo (BORGES, 2009).

Equação 1:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Em que:

A = Perda de solo laminar em t/ha.ano;

R = Erosividade da chuva em MJ.mm/ha.h.ano

K = Erodibilidade do Solo em t.h/MJ.mm

L = Comprimento da rampa (adimensional)

S = Inclinação do Terreno (adimensional)

C = Cobertura vegetal (adimensional)

P = Práticas de suporte (adimensional)

A EUPS foi proposta por Wischmeier e Smith (1965) e nos anos seguintes foi aprimorada por diversos estudiosos do tema, de modo que no Brasil os primeiros estudos aplicando a equação foram realizados por Bertoni *et al.* (1975) no Estado de São Paulo. Com o passar dos anos a EUPS sofreu atualizações, que deram origem ao modelo revisado chamado de “*Revised Universal Soil Loss Equation*” (RUSLE) (RENARD *et al.*, 1997) e modificado “*Modified Universal Soil Loss Equation*” (MUSLE) (WILLIAMS, 1975). Algumas dificuldades foram encontradas no uso dos modelos empíricos, como o empirismo dos parâmetros e as incertezas quanto aos prognósticos da faixa de ajuste. Apesar da RUSLE também ser um modelo matemático empírico, ela apresenta uma estimativa de perda de solo mais precisa, pois permite a aplicação a nível de bacia hidrográfica (PINHEIRO; CUNHA, 2018), unindo os fatores (L e S) e (C e P) que eram tabulados e calculados separadamente na USLE (ANACHE *et al.*, 2015).

Os resultados obtidos com a EUPS permitem realizar o planejamento do uso da terra e determinar práticas de conservação do solo mais adequadas para uma determinada área (BERTONI *et al.*, 2010). Para Valentin (2008), apesar de ter resultados muito positivos, a equação apresenta algumas limitações como o fato de não considerar deposições no pé de encosta e, principalmente, não conseguir estimar a erosão em pontos concentrados como ravinas e voçorocas. De fato, apesar da EUPS possuir limitações, ela também traz benefícios significativos e mostra-se como uma metodologia robusta, apresentando abordagem padronizada (GOMEZ, 2012). Quando usados em escala regional, os resultados precisam ser avaliados sob um espectro qualitativo para não subestimar os valores (STEIN *et al.*, 1987).

Amorim *et al.* (2009) afirma que mesmo a EUPS tendo limitações, como a não identificação de eventos extremos e dependência de dados empíricos que limitam sua aplicação, é a metodologia preditiva mais consagrada quando o assunto é cálculo estimado da perda de solo em determinada área e tem sido utilizada de forma ampla no auxílio do planejamento e conservação das terras (MATOS, 2015; ZHENG *et al.*, 2020; BRABO, 2020; SOUZA, 2015). A seguir são detalhados os fatores da Equação 1.

3.5.1 Fator R – Erosividade das chuvas

O fator Erosividade das chuvas (R) representa a capacidade da precipitação em um determinado local de causar erosão em áreas onde o solo está exposto (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Os diversos efeitos da chuva dependem da sua intensidade, quantidade, duração, frequência bem como do ângulo de incidência da gota em relação à superfície do solo (CARVALHO, 1994). Nesse contexto se faz necessário, a aquisição de conhecimento acerca da intensidade da chuva, pois, quanto mais devagar as pequenas gotas caem no chão, mais tempo elas têm para serem absorvidas, contudo quando a mesma quantidade de chuva cai de forma mais célere, formar-se-á escoamento que pode gerar graves erosões e até inundações ao longo dos rios (LEPSCH, 2010).

Quando outros fatores de erosão do solo, além da chuva, permanecem constantes, a perda de solo induzida pela precipitação atmosférica é diretamente proporcional ao produto da energia cinética total da chuva e a intensidade máxima de 30 min (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), ou seja, se mantidos os demais fatores, os resultados com a perda de solo por causa pluvial serão diretamente proporcionais à erosividade da chuva (AMORIM, 2004).

Para Crepano *et al.* (2008) a chuva é o principal agente ativo da erosão hídrica, de modo que para medi-la, utiliza-se como instrumento o pluviômetro, cujo objetivo é coletar a água precipitada em um dia, com dimensões padronizadas, além dos pluviógrafos e pluviômetros automáticos, que registram detalhadamente os eventos de chuva e sua variação ao longo do dia (COLLISCHONN 2013; DORNELLES, 2013). Waltrick *et al.* (2015) destacam que para uma precisão maior dos dados para determinar o fator R, o período de cálculo dos índices pluviométricos necessitam ser de no mínimo 20 anos.

A literatura apresenta alguns modelos matemáticos para cálculo do fator R. Foster *et al.* (1981) usaram a equação descrita a seguir para obtenção do fator supracitado da seguinte forma:

Equação 2:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I$$

Em que:

“ E_c ” é a energia cinética (MJ/hamm)

“ I ” é a intensidade da chuva (mm/h).

Para Foster *et al.* (1981) os valores de intensidade máxima em trinta minutos são calculados pelos registros pluviográficos e obtido com a utilização da Equação 3, descrita abaixo. Observa-se que os valores do índice de erosão de cada chuva, são somados separadamente, o que permite estimar a erosão por esta causa hídrica naquele período (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Equação 3:

$$EI_{30} = E_c \cdot I_{30}$$

Em que:

“ EI_{30} ” é o índice de erosão (MJ/ha.mm/h);

“ E_c ” é a energia cinética da chuva;

“ I_{30} ” é a intensidade máxima de chuva em 30 minutos (mm/h).

Sabe-se que no Brasil há má distribuição na rede de monitoramento de chuvas tanto em número de estações meteorológicas quanto nas suas localizações (MARCUIZZO; MELAZZI, 2015). De modo geral, a distribuição das estações meteorológicas estão relacionadas com a densidade demográfica regional. Assim, o estado do Pará, por possuir uma baixa densidade demográfica e logística dificultosa, faz com que existam algumas áreas com acúmulo de estações e outras com escassez ou ainda ausência total em algumas localidades (NIMER, 1977).

Assim, observa-se ao longo dos anos que, devido à ausência de registros de intensidade pluviométrica em determinadas áreas, alguns pesquisadores relacionaram as taxas de erosão a fatores climáticos facilmente mensuráveis (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010; SOUZA, 2021). Neste contexto, considerando as dificuldades encontradas no Brasil, Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) consideraram os parâmetros de precipitação média mensal (r) e precipitação média anual (p) e propuseram a seguinte equação para determinar a erosividade da chuva:

Equação 4:

$$R = \sum [67,355 (r^2/p)^{0,85}]$$

Em que:

“r” é a média do total mensal (mm);

“p” é a média do total anual de precipitação (mm).

Souza (2021), para quantificar a erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio Verde, no oeste do Estado do Paraná, observou a existência de regiões isoerosivas e por isso precisou calcular coeficientes lineares e angulares que possuem o objetivo de gerar melhores resultados ao pesquisador (UEMA, 2018). Desta forma, Souza (2021) considerou a série histórica de 20 anos e fez uso da Equação 5 para o cálculo do fator Erosividade da EUPS.

Equação 5:

$$R = 182,86 + 56,21 (P^2/p)$$

Em que:

R = índice de erosão de chuva, em MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹

182,86 = coeficiente linear (a)

56,21 = coeficiente angular (b)

p = precipitação pluvial média mensal (em mm);

P = precipitação pluvial média anual (em mm);

3.5.2 Fator K – Erodibilidade do Solo

A erodibilidade pode ser entendida como o índice relativo às propriedades físicas químicas e mineralógicas do solo (RODRIGUES *et al.*, 2017), que reflete a sua suscetibilidade à erosão, de modo que as características do solo que exercem maior influência para apontamento do fator K, são as relacionadas às taxas de infiltração do solo, como a permeabilidade e a capacidade de absorção de água, que se somam à resistência das forças de dispersão, abrasão e remoção pelas águas da chuva e enxurradas (STEIN *et al.*, 1987).

Demarchi e Zimback (2014) observaram que a erodibilidade do solo pode ser obtida de forma direta ou indireta, sendo o método direto aquele que corresponde às medidas em campo para a aquisição dos parâmetros e demandam longo tempo de observação, por isso é considerado um procedimento caro. Amorim (2004) afirma que, no intuito de tornar menos

oneroso o processo, pesquisadores passaram a utilizar o modelo indireto que tenta apontar a erodibilidade com os dados físicos do solo oriundos de informações secundárias (ARRAES *et al.*, 2010)

Renard *et al.* (2017) corroboram com as afirmativas de que a erodibilidade é frequentemente determinada de forma indireta, pois trata-se de um parâmetro complexo e multidimensional, de modo que avaliar diretamente este fator requer experimentos extensivos e complexos que envolvem a exposição do solo a condições controladas de erosão, o que pode tornar esse procedimento demorado e dispendioso. Estes autores afirmam também que os métodos indiretos como análises de teor de matéria orgânica, permeabilidade, cobertura vegetal, dentre outros, são os mais comuns e acessíveis para atribuição da erodibilidade.

Portanto, métodos indiretos são mais comuns e viáveis, pois as características indiretas fornecem informações valiosas que possibilitam estimar a erodibilidade do solo, permitindo um manejo eficaz e apropriado que visa à conservação do solo e à mitigação da erosão (MONTGOMERY, 2018).

Entretanto, não há um método indireto considerado universal ou que aponte a melhor forma de estimar a erodibilidade do solo, por isso, diversos autores vêm utilizando a equação proposta por Denardin (1990), que foi criada para ser mais adequada aos solos brasileiros e é considerado o método mais fidedigno para a estimativa da erodibilidade do solo (ARRAES *et al.*, 2010; CORRECHEL, 2003; LIMA *et al.*, 2007; SILVA; MACHADO, 2014; SOUZA *et al.*, 2003). Denardin (1990) adaptou aos Latossolos brasileiros as equações do nomograma de Wischmeier e desenvolveu uma equação para estimar a erodibilidade a partir de atributos físicos e químicos do solo (Equação 6).

Equação 6:

$$K = 0,00000748.M + 0,00448059.p - 0,0631175. DMP + 0,01039567.r$$

Em que:

“M” é a variável calculada a partir de valores granulométricos; “p” é permeabilidade do perfil de solo;

“DMP” é o diâmetro médio ponderado de partículas menores que 2 mm;

“r” é a relação entre matéria orgânica e areia grossa.

Dentre as variáveis da equação acima, a mais fácil de se obter em banco de dados é a permeabilidade do solo, pois permite a utilização de dados secundários obtidos por outros autores que apresentam as características do solo, ou através de ensaios de infiltração que medem a taxa de penetração da água no solo, os quais são baratos e não complexos (RAWLS *et al.*, 2003).

Assim, devido ao alto custo e o elevado tempo para calcular a erodibilidade do tipo específico do solo, na literatura é prática comum utilizar dados secundários robustos encontrados em outros trabalhos para definir o fator K da equação.

3.5.3 Fator LS – Topográfico

O fator topográfico é representado pelo comprimento da rampa (L) e pela declividade do terreno (S). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), esses fatores possuem fundamental influência no processo de erosão, pois o grau de declive, juntamente com o comprimento da encosta, determinam a velocidade do escoamento da água e, conseqüentemente, a capacidade de remover os agregados do solo (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2005).

Wischmeier e Smith (1978) desenvolveram a Equação Universal de Perda do Solo inicialmente para estimar a erosão do solo causada pela água em pequenas bacias, considerando como fator para cálculo a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, as práticas de manejo e a inclinação do terreno, de modo que todos estes eram calculados em separado. Já na versão revisada da EUPS, que é um modelo mais avançado e complexo, incorporou-se uma abordagem mais detalhada por adicionar aos fatores as práticas de manejo, o uso da terra, a cobertura vegetal e a topografia com as nuances de comprimento de rampa e inclinação do terreno (RENARD *et al.*, 1997).

Aprofundando os conceitos supracitados, têm-se o comprimento da rampa (L) como a distância entre o ponto de início do escoamento da água até o ponto mais baixo, ou seja, onde ocorre a sua deposição. Este é um fator adimensional, porém pode-se adotar a medida em metros, sem fazer referência a unidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Assim, o fator topográfico influencia o comportamento do escoamento superficial e determina a velocidade do fluxo e o seu grau de confluência (VALERIANO, 2008). À medida que o caminho percorrido aumenta, a água vai se avolumando proporcionalmente, acumulando a enxurrada e provocando um aumento progressivo da velocidade de escoamento, resultando em maior erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Para Carvalho (1994), o fator LS pode ser definido como a multiplicação do

comprimento da rampa pela declividade do terreno. A intensidade da erosão hídrica é largamente influenciada por ambos, tanto pelo comprimento da inclinação quanto pelo seu gradiente. Esses dois efeitos são mapeados e avaliados individualmente e são indicados na EUPS como Fator L, comprimento da encosta ou comprimento do talude e S, inclinação do terreno ou do talude (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Com o avanço das geotecnologias e com o uso de produtos do sensoriamento remoto e do Sistema de Informação Geográfica, o cálculo do parâmetro LS vem sendo mundialmente realizado com a utilização do Modelo Digital de Elevação (MDE) e de equações proposta por Desmet e Govers (1996) e McCool *et al.* (1987) (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Estudos realizados por Zhang *et al.* (2013) deram origem a uma aplicação denominada de LS-TOOL, a fim de calcular o LS por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE). Este é um exemplo da criação de aplicações para particularizar o processamento de dados garantindo a aplicabilidade do método proposto. No entanto, há carência na aplicação de métodos de cálculo dos fatores em um único sistema que proporcione a eficácia da EUPS em SIG (OLIVEIRA, 2012).

Os fatores que mais influenciam na conclusão da EUPS estão diretamente associados à topografia e ao uso e ocupação do solo, dessa forma, a aptidão na coleta, processamento e a análise dados georreferenciados para apontamento dos fatores LS e C possuem grau significativo nos resultados finais encontrados de perda do solo da região estudada (OLIVEIRA, 2014).

3.5.4 Fator CP – Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

O fator de uso do solo, considerado na Equação como Fator C, mede de forma direta a interferência de cada uso do solo em sua perda, já o fator P, considerado como Práticas Conservacionistas, calcula o quanto determinadas práticas de conservação do solo impactam em sua perda efetiva (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

O fator C, uso do solo ou cobertura do solo, é compreendido como a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado e as perdas de um terreno mantido com solo preparado e sem qualquer tipo de cobertura vegetal, de modo que neste cenário a vegetação tem impacto direto na prevenção da erosão, pois recebe o impacto das gotas de chuva, reduzindo a velocidade de escoamento superficial (DEMARCHI, 2012).

Diversos autores observaram que, a depender da sistemática de uso de uma área,

diferentes taxas de perda de solo seriam encontradas, de forma que, quanto maior for a proteção, menor é a taxa de perda e quanto menor a proteção maior será o valor de perda do solo (FARINASSO *et al.*, 2006; SOUZA, 2021; DIAS, 2018).

Importante ressaltar ainda que, em ambientes SIG, o fator C pode ser quantificado com a utilização de imagens de satélite apontando as classes de uso e cobertura da terra, atribuindo os mesmos valores de C para usos de terra similares, que podem ser quantificados pela literatura (SANTOS, 2013; SOUZA, 2021).

Já o fator P refere-se às práticas agrícolas empregadas nas áreas, tais como, plantio em curva de nível, terraços, pousio ou descanso dos solos, rotação de culturas e uso de lavouras para recuperação de pastagens possuem diferentes potenciais conservacionistas e podem ser utilizadas em conjunto pelos agricultores visando à conservação do solo (TELLES, 2018).

No entanto, a identificação de práticas conservacionistas do solo por meio de imagens de satélite pode ser um desafio por diversas razões, tais como a resolução espacial e temporal das imagens; a natureza sazonal das práticas; a presença de cobertura de nuvens; a necessidade de análise multitemporal; a interpretação humana e as variações locais (LEHMANN *et al.*, 2016).

Bertoni e Lombardi Neto (2010) enumeraram as principais práticas conservacionistas, utilizadas na agricultura brasileira e seus respectivos valores de fator P (Tabela 1).

Tabela 1 – Valor P para as práticas conservacionistas mais utilizadas no Brasil de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010)

| Prática Conservacionista | FATOR P |
|--|----------------|
| Plantio em Contorno | 0,5 |
| Alternativas de Capinas + Plantio em Contornos | 0,4 |
| Cordões de Vegetação Permanente | 0,2 |
| Solo Exposto | 0,0 |

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (2010).

De modo geral, o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desempenha um papel importante na otimização e implementação de práticas conservacionistas, pois permite a

análise espacial detalhada do terreno, identificação das condições do solo e cobertura vegetal, além de outros fatores relevantes para a aplicação precisa de práticas de conservação (FERNÁNDEZ *et al.*, 2020). De fato, a análise espacial de integração dos dados geográficos, como características do solo, relevo, uso da terra e padrões climáticos, através do SIG para identificar áreas suscetíveis à erosão e áreas que utilizam algum mecanismo de proteção e/ou conservação, pode ser considerada uma ferramenta versátil na identificação de práticas conservacionistas (BHATTARAI; DUTTA, 2007).

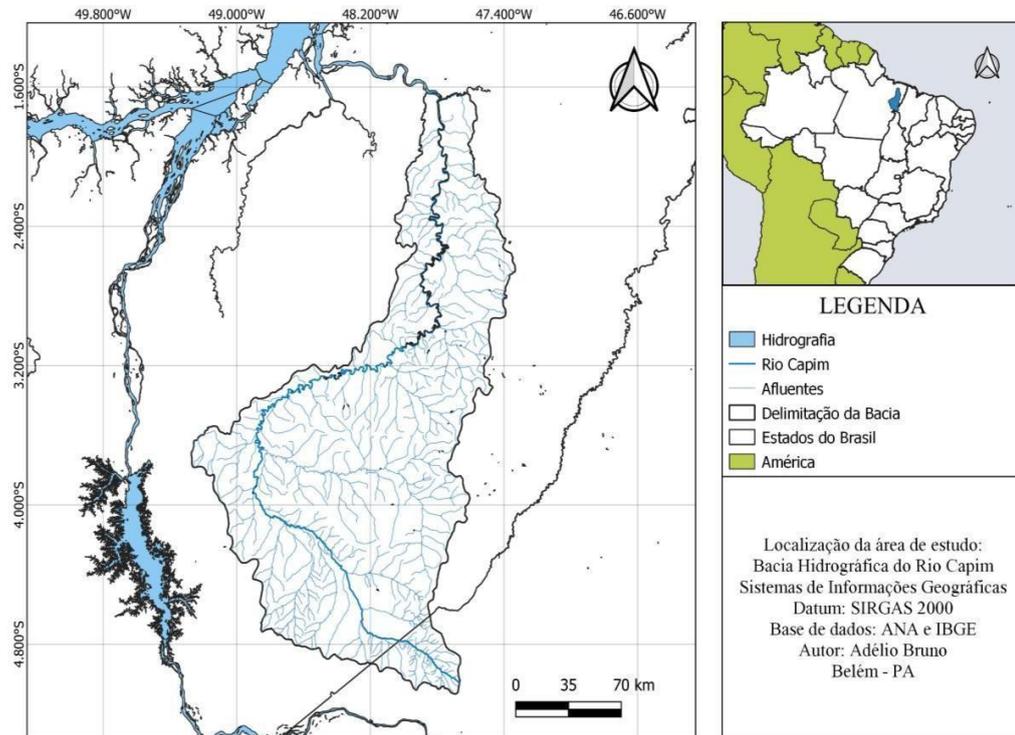
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na bacia Hidrográfica do Rio Capim (BHRC), localizada na região Nordeste do Estado do Pará, abrangendo uma área de 37.262 km², sendo 95,22 % desta no estado do Pará e 4,78% no Maranhão (Figura 2). A região estudada também compõe o eixo de maior circulação econômica do Estado do Pará, pois localiza-se em área comum com a Rodovia Belém-Brasília, a principal via de escoamento que liga a Região Norte ao restante do País.

Por estar localizada em região econômica tão importante, ocorrem constantes investimentos de infraestrutura voltados ao desenvolvimento econômico da região, como hidrovias, projetos industriais e minerários, além de expansões extrativistas e agropecuárias. Desta forma, há na bacia uma heterogeneidade de atividades, desde a agricultura e pecuária, até a existência de Terras Indígenas, que agem como protetoras das regiões mais florestadas da Bacia.

Figura 2 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Pará – Brasil



Fonte: Autor, 2023.

A Bacia Hidrográfica do Rio Capim tem formato retangular alongado e declividade acentuada, o que torna sua rede de drenagem irregular. Segundo GOMES *et al.* (2018) na área de estudo observa-se um forte controle tectônico de seus tributários, principalmente no sentido Norte-Sudeste e Nordeste-Sudoeste, que se somam ao principal curso d'água, o próprio Rio Capim, que batiza toda a bacia, cuja nascente é na região da Serra dos Coroados, no sudeste paraense, e sua foz nas proximidades da cidade de São Domingos do Capim. A extensão do principal rio da Bacia é de aproximadamente 600 km.

Os solos predominantes deste território são classificados como LATOSSOLO AMARELO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, NEOSSOLO FLÚVICO E GLEISSOLOS HÁPLICOS (IBGE, 2020). Quanto ao tipo de vegetação encontrada na região, existem as florestas ombrófilas, tanto nas formas aberta quanto na densa, de modo que a aberta caracteriza-se como uma floresta formada por árvores que estão mais separadas, com árvores pouco densas e apresentam períodos de estiagem, já a densa apresenta períodos de chuvas mais intensas e constantes somados a uma vegetação de folhas extensas, além de ser encontrada em subformações aluvial, submontana e terras baixas (IBGE, 2020).

A estrutura geológica da região encontra-se situada entre duas bacias sedimentares, sendo elas, a bacia sedimentar de Marajó e a bacia sedimentar do Parnaíba. A estrutura é

composta por sedimentos arenosos e argilo-carbonáticos de grau metamórfico fraco a médio; sedimentos argilosos; arenosos e cascalhos; sedimentos arenosos e argilosos, podendo incluir níveis carbonosos do terciário. Seguindo a escala de tempo geológico, essa estrutura é datada do Pré– Cambriano Neoproterozóico e da era Mesozóico e Cenozóico (IBGE, 2020).

O clima da região apresenta-se no clima zonal equatorial úmido, com três meses seco na porção leste e com um a dois meses seco nas demais localidades, conta com índice pluviométrico com média anual em torno de 2.250 mm, além de alta umidade do ar em quase todo o ano, as temperaturas são elevadas e com médias anuais em torno de 25°C e apresenta uma amplitude térmica baixa (IBGE, 2020).

4.2 Obtenção e processamento de dados

A metodologia empregada neste trabalho seguiu o fluxograma apresentado na Figura 3. Para delimitar a bacia em estudo, foram utilizados dados vetoriais, matriciais e imagens de satélite para elaboração dos mapas para cada uma das variáveis da EUPS.

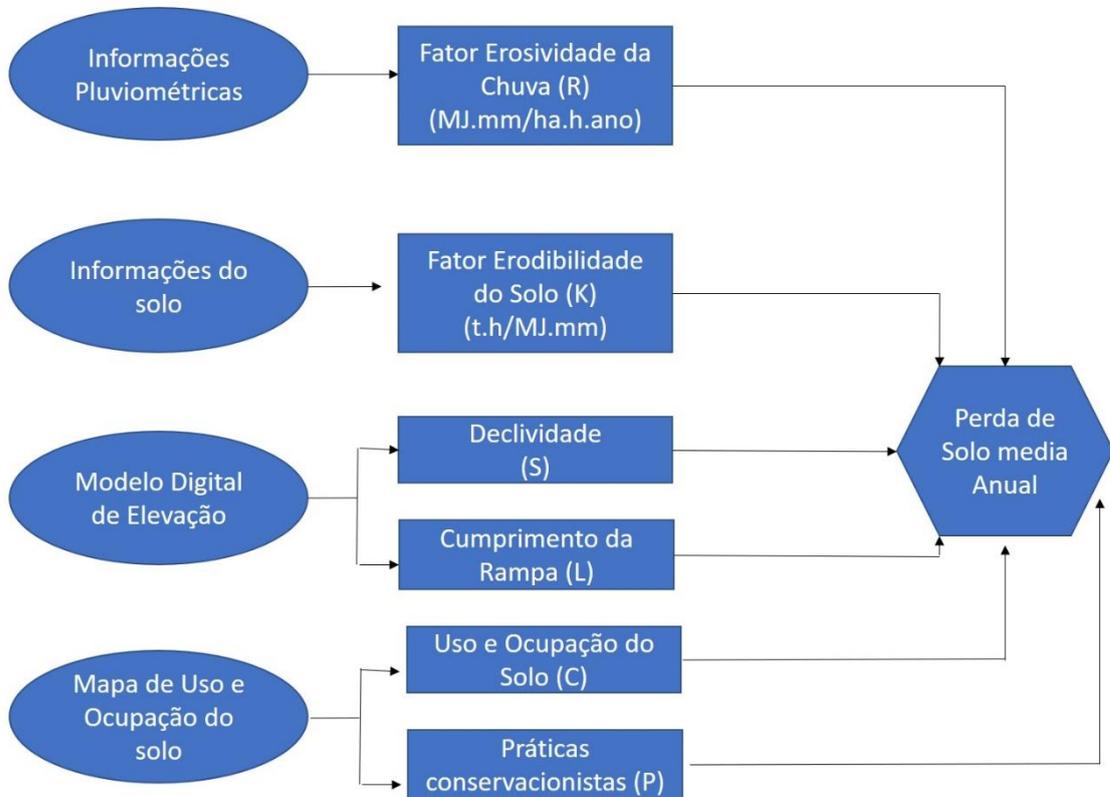
Para identificação do Fator R, Erosividade, as informações de pluviosidade foram coletadas das estações localizadas dentro da Bacia estudada da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Na identificação do Fator K, Erodibilidade, foram usados Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para identificação dos solos da região.

Para Calcular os valores de LS, foi realizado Modelo Digital de Elevação (MDE) com a utilização em pares stereo de imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite (ALOS)*, em resolução espacial de 12,5 metros. Contudo, como a região amazônica possui alta cobertura de nuvens, houve a necessidade de complementação dos dados com a utilização das imagens do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, disponibilizado na base de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) na plataforma *Earth Explorer*. Todas as etapas de pré-processamento, processamento e tratamento dos dados digitais foram realizadas no software livre QGIS 3.22.11. Após a obtenção do MDE, seguiu-se com os procedimentos de correção da imagem raster por meio da ferramenta “r.fill.dir”. Depois desta fase, deu-se início aos processamentos relacionados à bacia hidrográfica, com a geração da rede de drenagem e a delimitação da bacia desejada por meio do exutório. Por meio dos vetores dos rios e nascentes, disponibilizados no site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), foi possível identificar o Rio Capim e seus afluentes.

Para a identificação dos Fatores CP foi elaborado mapa de uso e ocupação do solo

supervisionado, com a utilização de imagens o satélite Landsat 8.

Figura 3 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autor, 2023.

4.3 Cálculo das variáveis da Equação Universal de Perda do Solo

A obtenção das variáveis da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (Eq.1) são detalhadas a seguir.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

“A” é a perda de solo laminar em t/ha.ano;

“R” é o fator de erosividade das chuvas em Mj.mm/ha.h.ano; “K” é o fator de erodibilidade do solo em t.h/Mj.mm;

“L” é o fator comprimento de rampa (adimensional); “S” é a declividade

(adimensional);

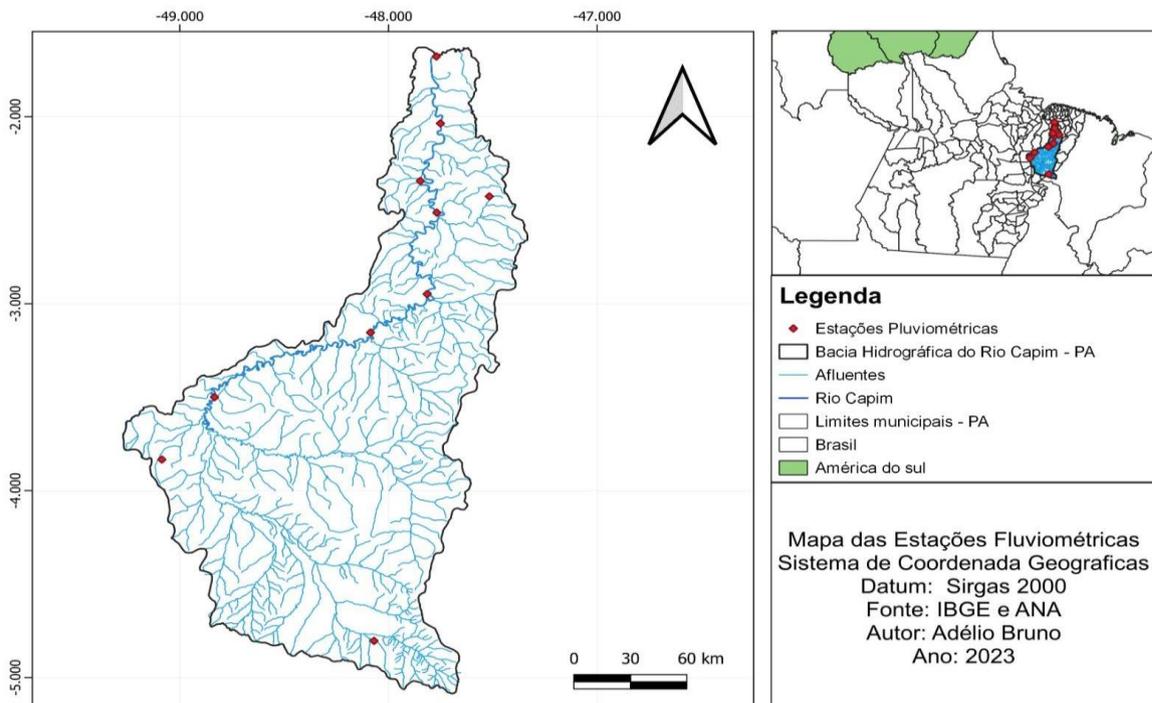
“C” é o fator uso e manejo (adimensional);

“P” é o fator práticas conservacionistas (adimensional).

4.3.1 Erosividade das chuvas (Fator R)

Para obtenção da variável Erosividade da chuva, utilizou-se os dados dos registros pluviométricos dos últimos 20 anos, mês a mês, de janeiro de 2001 a dezembro de 2021, de dez estações da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) localizadas nos seguintes municípios: Bujaru, Capitão Poço, Dom Eliseu, Ipixuna do Pará, Irituia, Ourém, Paragominas, Tomé-açu e Ulianópolis (Figura 4). Esta escolha ocorreu em virtude dessas estações integrarem a região da Bacia do Rio Capim. Estes dados foram extraídos da Plataforma de dados do site da HidroWeb disponível em <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/aplicativos-sistemas/hidroweb-mobile> e acessado em 10/12/2022 bem como do site do IBGE disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html> e acessado em 14 dez. 2022.

Figura 4 - Localização das Estações Pluviométricas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Estado do Pará, Brasil



Fonte: Autor (2023).

Os registros pluviométricos foram analisados em seu formato original, visando a consistência de dados brutos para posterior identificação e correção dos erros existentes nas séries históricas. Durante o levantamento dos dados pluviométricos mensais das estações, observou-se que algumas não continham a sequência dos anos e outras haviam sido desinstaladas, estas portanto, não foram consideradas para o apontamento das médias pluviométricas.

Para tanto foi utilizada a interpolação IDW (*Inverse Distance Weighted*), que trata de uma estimativa de precipitação desenvolvido por Edward H. Isaaks e R. Mohan Srivastava (1989), os quais realizam estimativas dos valores em locais não amostrados com base em dados amostrais disponíveis. Assim, assume-se que os valores em pontos não amostrados podem ser estimados com base na relação inversa das distâncias ponderadas pelos valores conhecidos mais próximos (SALES, 2021). Os valores mais próximos ao ponto de interesse têm maior influência na estimativa do que aqueles mais distantes. Essa técnica foi eficaz para este estudo por trabalhar com dados espacialmente distribuídos de forma irregular, como é o caso das estações pluviométricas ao longo da Bacia do Rio Capim. As estações consideradas neste estudo estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Identificação e localização da Estações pluviométricas utilizadas no estudo com as respectivas médias anuais de precipitação

| Nome da estação | Município | Latitude | Longitude | Média de Precipitação anual (mm) |
|------------------------|------------------|-----------------|------------------|---|
| Bujaru | Bujaru | 1°31'16"S | 48°02'46"W | 206,3 |
| Vila Santa Luzia | Capitão Poço | 1°46'00"S | 47°04'00"W | 206,82 |
| Km Zero / PA-70 | Dom Eliseu | 4°17'12"S | 47°33'33"W | 144,14 |
| Fazenda São Raimundo | Ipixuna do Pará | 2°25'34"S | 47°30'58"W | 171,8 |
| PA-256 / Rio Capim | Ipixuna do Pará | 2°56'53"S | 47°48'51"W | 174,5 |

| | | | | | |
|-----------------|-------|-------------|-----------|------------|--------|
| Colônia Antônio | Santo | Irituia | 1°39'18"S | 47°29'29"W | 207,96 |
| Ourém | | Ourém | 1°33'06"S | 47°07'01"W | 184,01 |
| Fazenda Zebu | Rural | Paragominas | 3°20'03"S | 46°52'23"W | 121,45 |
| Paragominas | | Paragominas | 3°00'36"S | 47°20'35"W | 148,77 |
| Tomé-açu | | Tomé-açu | 2°25'14"S | 48°08'56"W | 217,12 |

Fonte: HidroWeb – Adaptada pelo autor.

Com os registros pluviométricos obtidos aplicou-se a Equação 4 para o cálculo do fator R (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992).

$$R = \sum [67,355 (r^2/p)^{0,85}] \quad (\text{Eq 4})$$

Em que:

“r” é a média total mensal de precipitação (mm);

“p” é a média total anual de precipitação (mm).

4.3.2 Erodibilidade do Solo (Fator K)

Para obtenção deste fator da equação foi utilizado o mapa de solos e de aptidão agrícola de áreas alteradas na escala de 1:250.000, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no ano de 2016 (IBGE, 2016).

Almeida (2018) afirma que o cálculo do fator K é desafiador, pois exige tempo e os custos são elevados, por isso, neste trabalho, optou-se por realizar uma identificação nas classes de solos presentes na área estudada através de um cruzamento com os resultados obtidos por Moraes e Sales (2017) (Tabela 3). Estes autores desenvolveram um trabalho de aplicação da EUPS na Bacia do Rio Gurguéia, no estado do Piauí, a qual está distante cerca de 1.000 Km lineares da Bacia do Rio Capim, porém apresentam semelhanças na geologia, em virtude da presença de formações sedimentares e antigas do escudo pré-cambriano, igualdade na identificação dos tipos de solo e geomorfologia que apresenta relevos de terra firme (PROJETO RADAMBRASIL, 1973).

Tabela 3 - Valores encontrados por Morais e Sales (2017) para o fator K no estudo de estimativa de erosão dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Gurguéia, Piauí

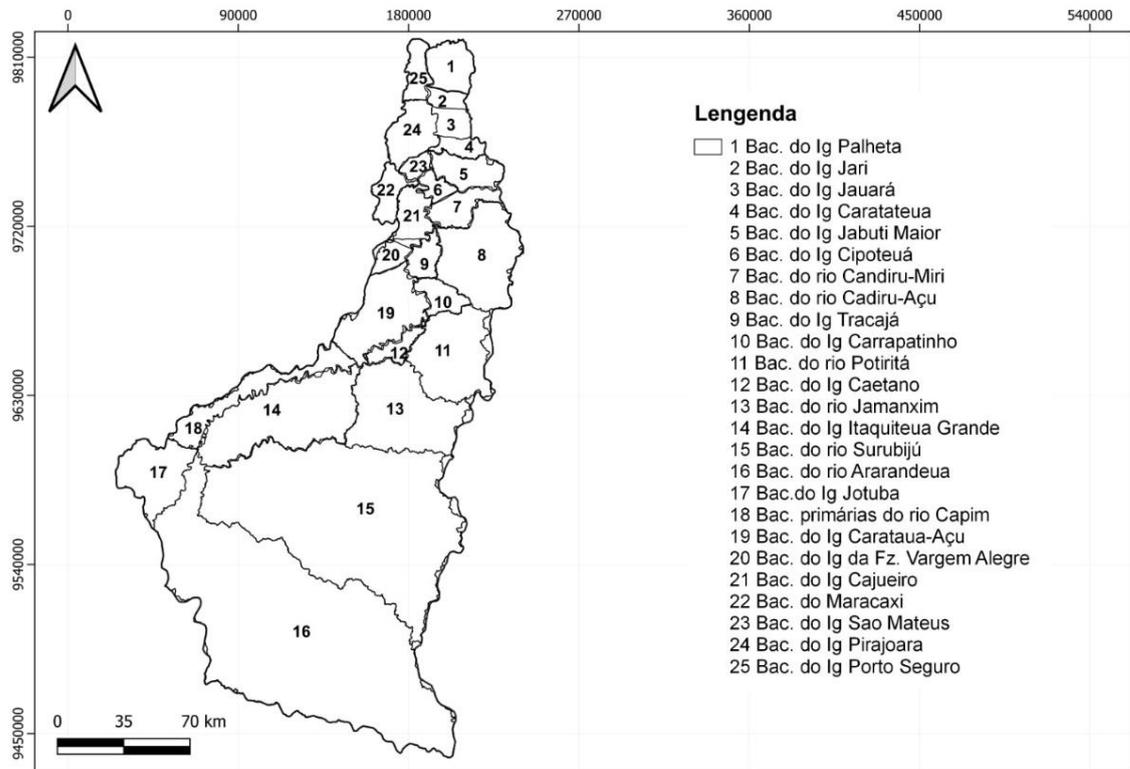
| Tipo de Solo | Fator K | Referência |
|----------------------------|----------------|----------------------|
| ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO | 0,05920 | Morais e Sales, 2017 |
| EOSSOLO FLÚVICO | 0,03660 | Morais e Sales, 2017 |
| GLEISSOLO SÁLICO | 0,25300 | Morais e Sales, 2017 |
| NEOSSOLO LITÓLICO | 0,03620 | Morais e Sales, 2017 |
| PLANOSSOLO NÁTRICO | 0,02190 | Morais e Sales, 2017 |
| LATOSSOLO AMARELO | 0,02770 | Morais e Sales, 2017 |
| LATOSSOLO VERMELHO | 0,01500 | Morais e Sales, 2017 |
| LUVISSOLO CRÔMICO | 0,03840 | Morais e Sales, 2017 |
| NEOSSOLO QUARTZARÊNICO | 0,48700 | Morais e Sales, 2017 |

Fonte: Morais e Sales (2017).

4.3.3 Fator Topográfico - LS

Como a Bacia possui grandes extensões territoriais, para os fatores LS e CP optou-se pela subdivisão em 25 sub-bacias (Figura 5). Para Lima e Ponte (2012), a subdivisão auxilia na determinação do Modelo Digital de Elevação (MDE) por regiões e na identificação dos múltiplos usos do solo pois leva em consideração os marcos topográficos.

Figura 5 - Mapa de Localização das Sub-Bacias do Rio Capim, localizado no Estado do Pará, Brasil



Fonte: Lima e Ponte, (2012), adaptado pelo autor.

Após a separação por sub-bacias, O Modelo Digital de Elevação foi elaborado com a utilização de imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), desenvolvida pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), cuja resolução espacial é de 12,5m disponibilizadas gratuitamente pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade do Alaska Fairbanks, e, na ausência de resposta espectral dos sensores ópticos por causa do cobrimento de nuvens na cena, as informações foram complementadas com imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Para construção do MDE, as imagens ópticas foram obtidas em pares Stereo que são comumente utilizados na criação de mapas topográficos e possui como principal atributo a relação Base sobre Altura (B/H), que controla o ângulo entre as aquisições de forma a criar o efeito da estereoscopia.

Para tanto, seguiu-se a metodologia de Li, Zhu e Gold (2005), que consiste no atendimento das seguintes etapas:

- I – Aquisição de dados topográficos
- II – Processamento de dados
- III – Interpolação e Geração do MDE
- IV – Validação do MDE
- V – Edição e ajustes
- VI – Aplicação e análise

Após identificação dos valores do comprimento da rampa e do grau de declividade optou-se pelo uso da Equação proposta por Lombardi e Neto (1975) apresentada na Equação 8, que estimam o Fator LS, com a combinação do MDE a procedimentos de cálculos matriciais em mapas no formato raster em ambiente SIG.

Equação 8:

$$LS = 0,00984C^{0,632} \cdot D^{1,18}$$

Em que:

LS = fator topográfico;

C = comprimento de rampa;

D = grau de declive;

4.3.4 Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P) – Fator CP

Para a determinação dos valores de uso e ocupação do solo foi realizada a classificação supervisionada de imagens, que permite uma maior precisão na identificação das áreas, bem como uma flexibilização nos resultados, possibilitando adequações durante o processamento dos dados (LEHMANN *et al.*, 2016). Para tanto, usou-se o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) disponível no Qgis.

As imagens da área foram baixadas do USGS Earth Explorer no dia 23/09/2023. Adquiriu-se as bandas 4, 5 e 6 com datas de aquisição entre o dia 24/07/2023 a 08/09/2023 do satélite Landsat 8, órbita polar heliossíncrona . Foram selecionadas no total 18 imagens, sendo 6 para cada banda.

Em seguida, foi realizado o recorte pela camada máscara de cada raster da banda 4 e cada raster foi reprojetoado para o sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000

zona 23 Sul, para realizar o mosaico da banda 4. Esse processo foi repetido para as bandas 5 e 6. Posteriormente, as bandas foram adicionadas no QGIS pelo SCP band Set para a execução da classificação supervisionada, sendo identificadas cinco classes: vegetação, hidrografia, pastagem, agricultura e área desmatada, que pode ser compreendida como área com solo descoberto e/ou áreas contruídas.

As etapas de processamento e tratamento das imagens incluíram o mosaico das cenas e seu recorte, considerando o limite da bacia hidrográfica do rio Capim, além da composição colorida, falsa cor RGB456, e da classificação da imagem. Deste modo, a imagem apresenta vegetação na cor verde, mais próximo de zero em seus valores e, quanto mais sem cobertura vegetal é a região, mais próximo ao vermelho (TAUBENBÖCK *et al.*, 2008).

Segundo Paranhas Filho *et al.* (2003) como as variáveis que indicam o uso e ocupação do Solo (C) e práticas conservacionistas (fator P) são inter-relacionadas podem ser analisadas conjuntamente. Pasquatto e Tomazoni, (2016) afirmam ainda que esta análise em conjunto é influenciada pela dificuldade na visualização e identificação de Práticas Conservacionistas somente com imagens de satélite.

Como não houve visita *in loco*, optou-se em seguir os passos de Paim (2012), em que obtiveram-se as duas variáveis de forma simultânea com a leitura do mapa de uso do solo, observando o verdor da região e relacionando os resultados da ocupação humana territorial com as práticas de manejo e conservação.

Para uma melhor e mais detalhada identificação dos valores de CP considerou-se também a divisão das sub-bacias propostas por Lima e Ponte (2012), e assim abranger melhor a identificação das regiões mais susceptíveis à erosão hídrica.

Após a identificação das práticas de manejo em cada sub-bacia, foram utilizados os valores compilados de bibliografia e adotados em pesquisas (Tabela 4), de modo que foi possível realizar a identificação dos valores CP. Para uso na EUPS, adotou-se em utilizar a médias desses valores.

Tabela 4 - Valores compilados e extraídos de pesquisas para identificação do Fator CP

| Classes de Uso e Ocupação do Solo | Fator C | Fator P | Fator CP |
|--|-----------------------|----------------|-----------------|
| Floresta | 0,0004 ⁽¹⁾ | 0,2 | 0,00008 |
| Reflorestamento | 0,0030 ⁽²⁾ | 0,5 | 0,0015 |
| Agricultura (Culturas Anuais) | 0,8210 ⁽³⁾ | 0,5 | 0,04105 |
| Pastagem | 0,0100 ⁽¹⁾ | 0,5 | 0,005 |
| Água | 0 ⁽⁴⁾ | 0,0 | 0,0 |
| Solo Exposto | 1,0 ⁽³⁾ | 1,0 | 1,0 |
| Área Urbana Construída | 0 ⁽⁵⁾ | 0,0 | 0,0 |

Fonte: ¹ SILVA *et al.* (2010); ²TOMAZONI; GUIMARÃES (2005); ³ FUJIHARA (2002); ⁴PARANHAS FILHO *et al.* (2003); ⁵ PAIM (2012); ⁶ Valor de P adaptado de BERTONI; LOMBARDI NETO (1990).

A avaliação da precisão e eficiência do modelo proposto foi realizada por meio da aplicação da matriz de erro ou confusão, também conhecido como índice Kappa. O Kappa é uma métrica estatística que mede a concordância entre as classificações do modelo e as observações reais (SMITH, 2021). É particularmente útil quando se trabalha com modelos de classificação ou categorização, pois fornece um resultado robusto com a comparação entre a informação construída, com o dado real.

No Qgis 3.22.11 foi utilizado a ferramenta r.kappa, onde foram adicionados o mapa gerado com a realização da classificação supervisionada das áreas e o mapa de referência, em seguida foi atribuído o valor de 10(metros) para o tamanho da célula e posteriormente gerado o arquivo em formato txt com as informações de acurácia do mapa gerado.

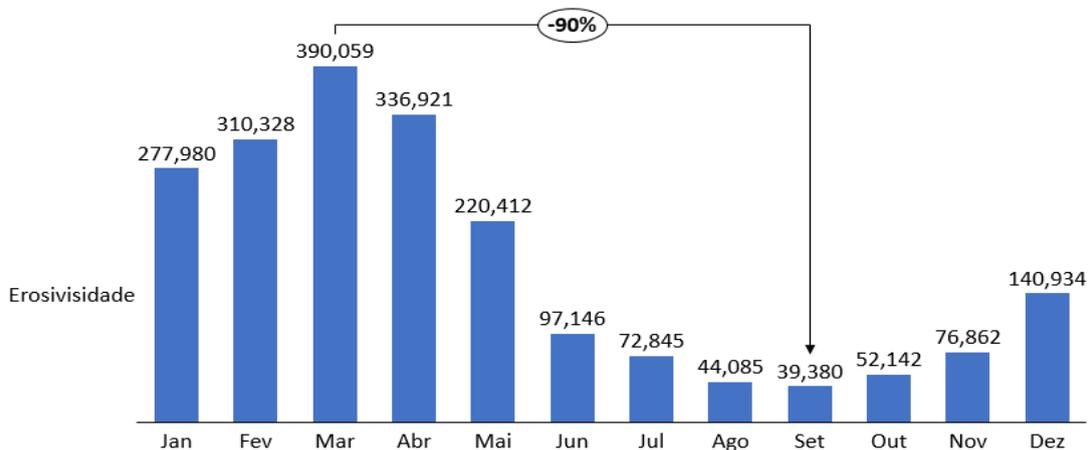
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Fator R: Erosividade

De acordo com índices pluviométricos mensais dos últimos 20 anos obtidos da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), das dez estações localizadas dentro dos nove municípios da área de estudo, observa-se que os meses de fevereiro, março e abril são os mais representativos quanto aos índice pluviométricos, registrando em média 310,33mm, 390,06mm e 336,92mm, respectivamente. Destes, o mês de março apresentou o maior pico pluviométrico ou seja, foi o mês de maior intensidade de chuvas na região (Figura 6).

Por outro lado, por estar localizada em região amazônica, os índices pluviométricos reduzem consideravelmente na virada do segundo semestre, quando é vivenciado o período conhecido como verão amazônico, de modo que, quando comparados os meses limítrofes de maior e menor intensidade (março e setembro), a diferença da média pluviométrica chega 90% (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição média mensal da pluviosidade em mm nos municípios circundantes a Bacia do Rio Capim entre os anos de 2001 e 2021



Fonte: Autor (2023).

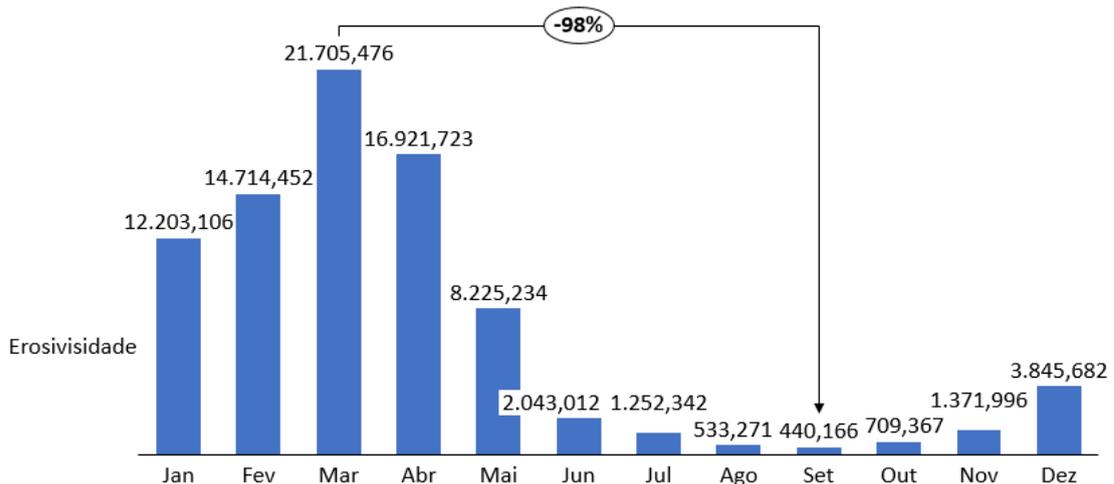
Como o verão amazônico é uma referência comum à estação seca na Amazônia, caracterizada por uma diminuição significativa nas chuvas, e ocorre geralmente de junho a dezembro (SILVA *et al.*, 2022), observa-se na região um clima mais seco e ensolarado, com níveis mais baixos nos rios e uma diminuição na inundação de áreas ribeirinhas, fato que tem

proporcionalidade direta com a capacidade erosiva da região. Neste sentido, observou-se que no período avaliado, os meses de agosto e setembro tiveram os menores valores de Erosividade, com 533,271 MJ.mm/ha.h.ano e 440,165 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente (Figura 7).

Após os meses agosto e setembro, a precipitação e conseqüentemente a erosividade média aumentam, com maiores valores de precipitação e índice de erosividade registrados em março e abril, quando na região é vivenciado o ápice do período chuvoso ou, como é amplamente conhecido, inverno amazônico. Desta forma, o valores de erosividade foram de 21.705,475 e 16.921,723 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente nos meses de março e abril. Estes valores são semelhantes aos observados em bacias próximas, até 200 Km de distância, como nos casos estudados por Brabo (2020) na bacia do rio Guamá que encontrou valores de R variando entre 10.476,20 MJ.mm/ha.h.ano e 13.050,50 MJ.mm/ha.h.ano, ou ainda, o valor de 22.001,30 MJ.mm/ha.h.ano encontrado por Albuquerque (2013) na Bacia do Rio Apeú.

Para detectar o índice de erosividade anual para a área da bacia hidrográfica do Rio Capim, calculou-se a erosividade média anual dos meses da área estudada, de modo que o resultado foi de 6.997,152 MJ.mm/ha.h.ano.

Figura 7 - Valor mensal de erosividade da Bacia do Rio Capim calculado de 2001 a 2021 em MJ.mm/ha.h.ano

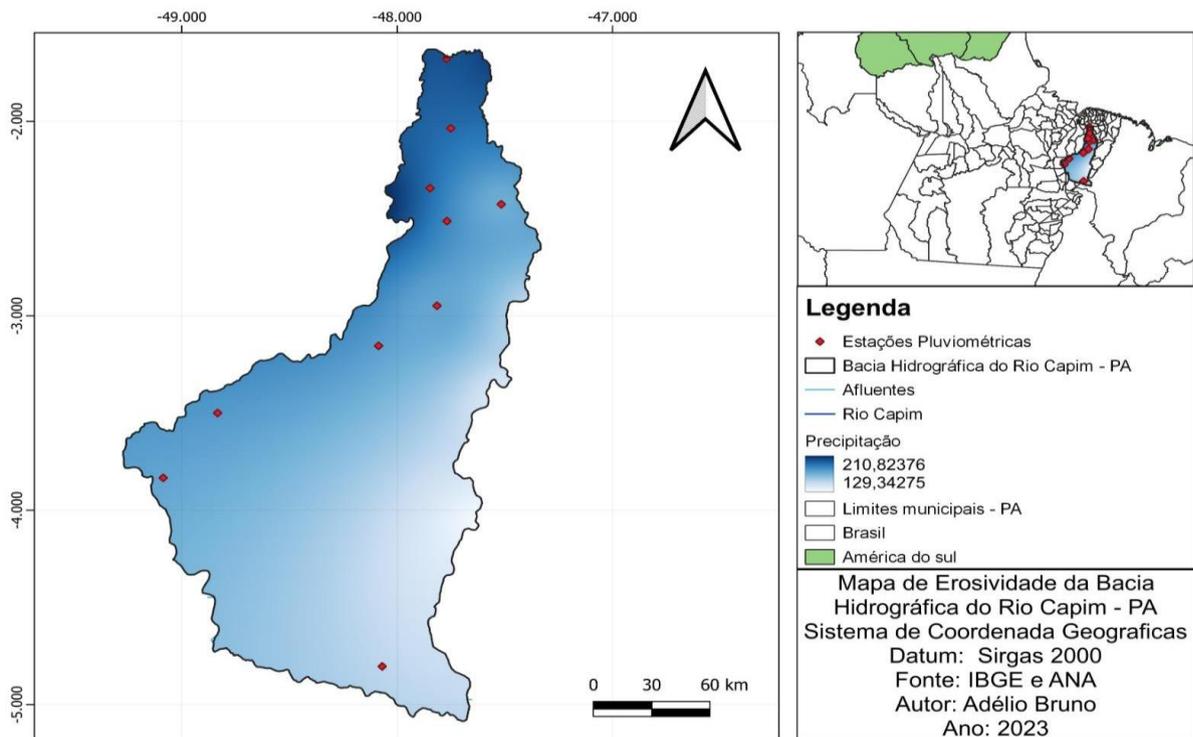


Fonte: Autor (2023).

No que tange à variação dessa erosividade ao longo da Bacia do Rio Capim, observou-

se que nos municípios de Tomé-açu, Irituia, Bujaru e Capitão Poço, o Fator R foi maior (Figura 8). Isto pode ser atribuído ao fato destes municípios serem historicamente mais chuvosos (INMET, 2022), tendo a como média pluviométrica nestes a variação de 217,12mm, 207,96mm e 206,30mm respectivamente. Já nos municípios de Dom Eliseu, Ourém e Paragominas observou-se menores valores de Erosividade, em virtude de serem menos chuvosos, com as médias pluviométricas de 124,37mm, 184,01mm, 135,11mm. Desta forma, a Erosividade da chuva (E), tem impacto considerável na susceptibilidade a erosão hídrica na região norte, o que corrobora com os resultados obtidos por Dias (2018).

Figura 8 - Mapa de Erosividade da chuva da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, localizada no Estado do Pará, Brasil



Fonte: Autor (2023).

Ao comparar a Erosividade encontrada na Bacia estudada com as informações apresentadas pelo *International Soil Reference and Information Center*, que classifica os índices médios de “R” como alto, médio e baixo, observa-se que a Erosividade média na Bacia do Rio Capim é acentuada, pois supera em mais de três vezes o valor de 1.250 MJ.mm/ha.h.ano, considerado alto (COSTA, 2016).

Para Wang *et al.* (2016), a Zona de Convergência Intertropical é uma importante

influenciadora dos padrões atmosféricos regionais e, como a Bacia estudada está inserida em uma região com convergências de massas de ar úmidas carregadas de vapor de água, criam-se condições favoráveis para a formação de nuvens de chuva, que somadas à quantidade de massa vegetal abundante da região, potencializam os índices pluviométricos de forma considerável.

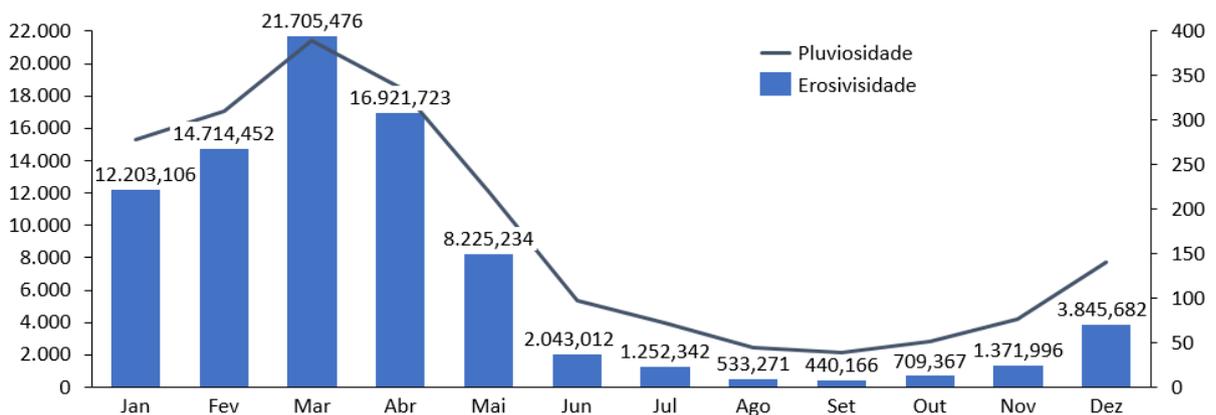
Tabela 5 - Classificação do índice médio mensal de erosividade segundo a *International Soil Reference and Information Center* em 1996

| Erosividade MJ.mm/ha.h.ano | Classes de Erosividade |
|----------------------------|------------------------|
| $R \leq 1.250$ | Alta |
| $800 < R < 1.250$ | Média |
| $R \leq 800$ | Baixa |

Fonte: Autor (2023).

A Figura 9 reforça a relação direta da quantidade de chuvas com o Fator R, tal como observado por Uema (2018) que, em seu trabalho, atribuiu os índices pluviométricos como fator diretamente proporcional no resultado da Erosividade.

Figura 9 - Relação da Pluviosidade com a Erosividade ao longo dos meses na Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Pará, Brasil



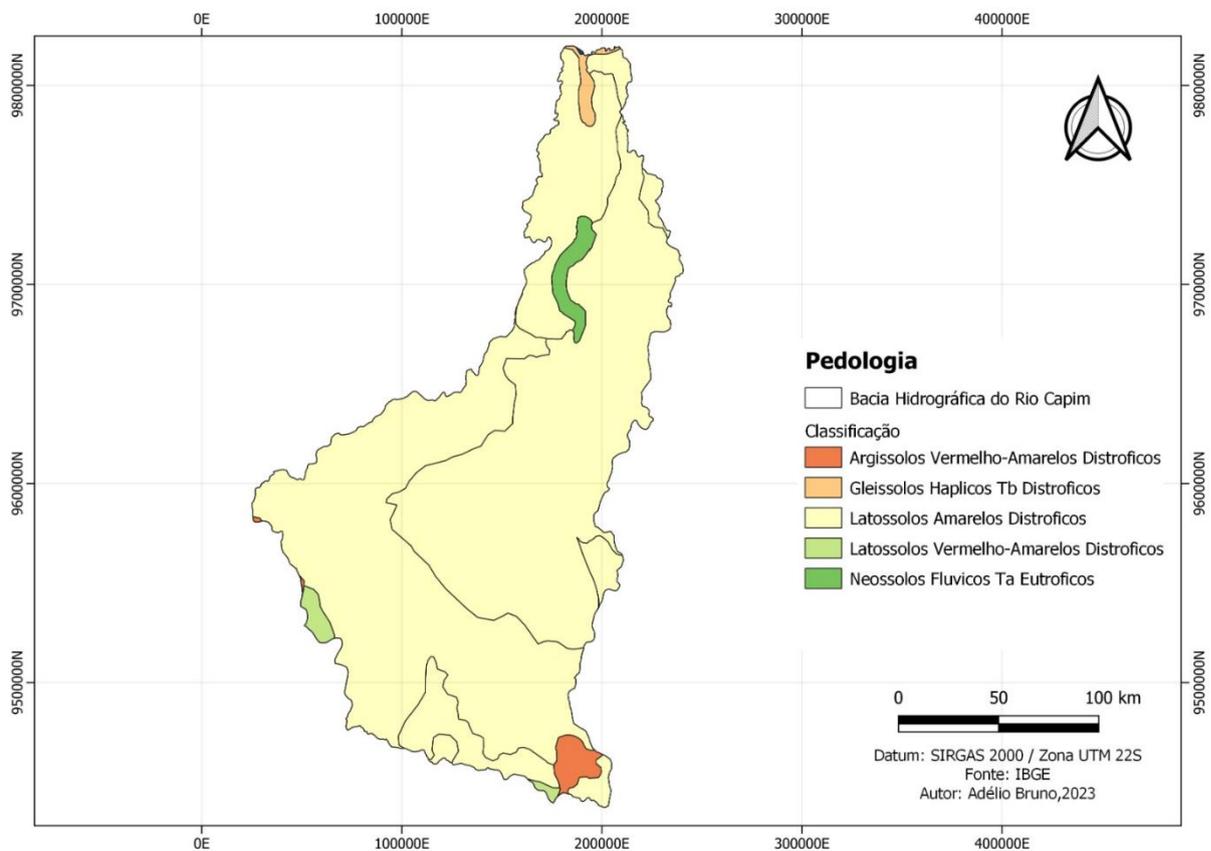
Fonte: Autor (2023).

5.2 Fator K: Erodibilidade

As classes de solo encontradas na Bacia do Rio Capim estão apresentadas na Figura 10.

O LATOSSOLO AMARELO distrófico ocupa 94,3% da área, estando presente em todas as regiões da Bacia Hidrográfica estudada. Os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO distróficos são observados na porção sul da micro-bacia ocupando uma área de 0,9%. Ao norte, há a presença de GLEISSOLO HÁPLICO distrófico, correspondendo a 2,5% da bacia estudada. No centro do território, mas próximo a região norte, existe uma porção de 1,5% de NEOSSOLO FLÚVICO eutrófico e, ao sul e sudeste, há a presença de LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELO distrófico que representam apenas 0,8% da região estudada.

Figura 10 - Mapa dos tipos de solos identificados na Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Pará Brasil



Fonte: O autor (2023).

Como os LATOSSOLOS AMARELOS distróficos são predominantes, se faz necessário descrever suas principais características, sendo elas, altamente intemperizados, com elevada acidez, baixos valores de CTC e saturação por bases. Embora sejam solos pobres quimicamente,

possuem boa aptidão agrícola (EMBRAPA, 2018). Para Prado (2019), a aptidão agrícola do LATOSSOLO AMARELO pode variar, mas em muitos casos, é necessário adotar manejos que melhorem a sua fertilidade, tais como a calagem e adubação (BRASIL; CRAVO, 2019), bem como a implementação de práticas conservacionistas para torná-lo adequado para a agricultura (LEPSCH 2010), e não sem motivo, esta classe de uso surge como uma das principais atividades da região, compreendendo aproximadamente 19% do território.

Considerando as classes de solo existentes na área estudada e os valores de erodibilidade identificados por Morais e Sales, (2017), elaborou-se a Tabela 6. Desta forma é possível observar que o valor de K na a área estudada variou principalmente de 0,02770 t.h/MJ.mm, nas áreas de LATOSSOLO AMARELO distrófico a 0,0592 t.h/MJ.mm, onde há a presença do ARGISSOLO VEMELHO-AMARELO.

Tabela 6 - Solos encontrados na Bacia do Rio Capim e os respectivos valores de Erodibilidade (K), segundo Morais e Sales

| Tipo de Solo | Fator K |
|----------------------------|----------------|
| LATOSSOLO AMARELO | 0,02770 |
| ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO | 0,05920 |
| LATOSSOLO VERMELHO AMARELO | 0,04500 |
| NEOSSOLO FLÚVICO | 0,03500 |
| GLEISSOLO HÁPLICO | 0,02740 |

Fonte: O autor (2023).

De acordo com Carvalho (1994) e Foster (1981), valores de $K < 0,0198$ são considerados baixos, enquanto que valores de K entre 0,0198 e 0,040 indicam média erodibilidade e, acima de 0,040, alta erodibilidade (Tabela 7).

Como na Bacia do Rio Capim, o LATOSSOLO AMARELO possui predominância absoluta, totalizando mais de 94% da cobertura e os demais solos surgem em pontos isolados, adotou-se o valor da Erodibilidade média de 0,02770 t.h/MJ.mm.

Entretanto, a região sul da bacia estudada possui características de erodibilidade alta em virtude da existência do ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO. Diferentemente dos Latossolos que apresentam condições pouco favoráveis à concentração de água por escoamento

superficial, pois em geral são solos bem drenados, maduros e profundos (ARRAES *et al.*, 2010), nos Argissolos há a presença do horizonte Bt abaixo do horizonte A, onde a água que infiltra facilmente em A se depara com uma camada mais impermeável mais argilosa, tornando a infiltração mais lenta e conseqüentemente habilitando-o com menor resistência a erosão (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Tabela 7 - Classificação dos valores de Erodibilidade do Solo segundo Carvalho (1994) e Foster *et al.* (1981)

| Valores de Erodibilidade | Classe de Interpretação |
|--|-------------------------|
| $K < 0,0198 \text{ t.h/MJ.mm}$ | Erodibilidade Baixa |
| $0,0198 < K < 0,040 \text{ t.h/MJ.mm}$ | Erodibilidade Média |
| $K > 0,040 \text{ t.h/MJ.mm}$ | Erodibilidade Alta |

Fonte: Carvalho (1994); Foster *et al.* (1981).

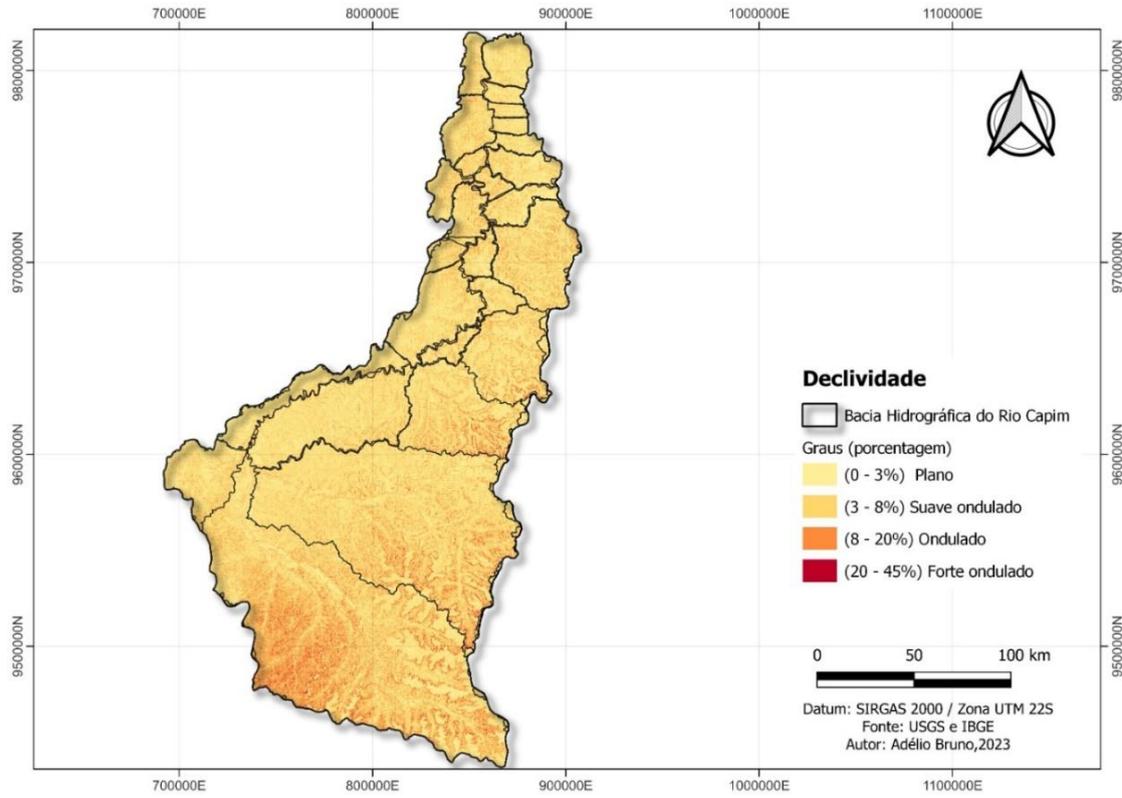
5.3 Fator LS: Comprimento da Rampa e Declividade

O Mapa do Modelo Digital de Elevação da Bacia Hidrográfica estudada pode ser observado na Figura 11. Há uma distribuição irregular do fator LS, que denota uma possível variação no escoamento superficial na área estudada, contudo, como a predominância da região é plana, o relevo favorece a infiltração da água no solo e diminui as taxas de escoamento superficial, logo as taxas erosivas também seguirão esta tendência (SILVA; MACHADO, 2014).

As regiões sul e sudoeste, de modo mais específico, a sub-bacia 16 (Figuras 5 e 11) é a que apresenta as maiores declividades, região esta também bastante desmatada em virtude do crescente crescimento urbano que pressiona meio biótico da região. Este aspecto do uso e ocupação em área com declividade acentuada a torna uma das mais sensíveis aos processos erosivos (OLIVEIRA *et al.*, 2013; MCCOOL *et al.*, 1987)

Engel (2023) afirma que calcular o fator LS de forma conjunta, como o optado neste trabalho, promove resultados mais assertivos entre as unidades de relevo das bacias hidrográficas. Segundo Avanzi *et al.* (2013) os valores de LS não sofrem as alterações naturais na aplicação de fórmulas separadas, desta forma a taxa de erro no apontamento da variável diminui consideravelmente.

Figura 11 - Mapa de declividade para determinação do fator LS na Bacia do Rio Capim, Pará, Brasil

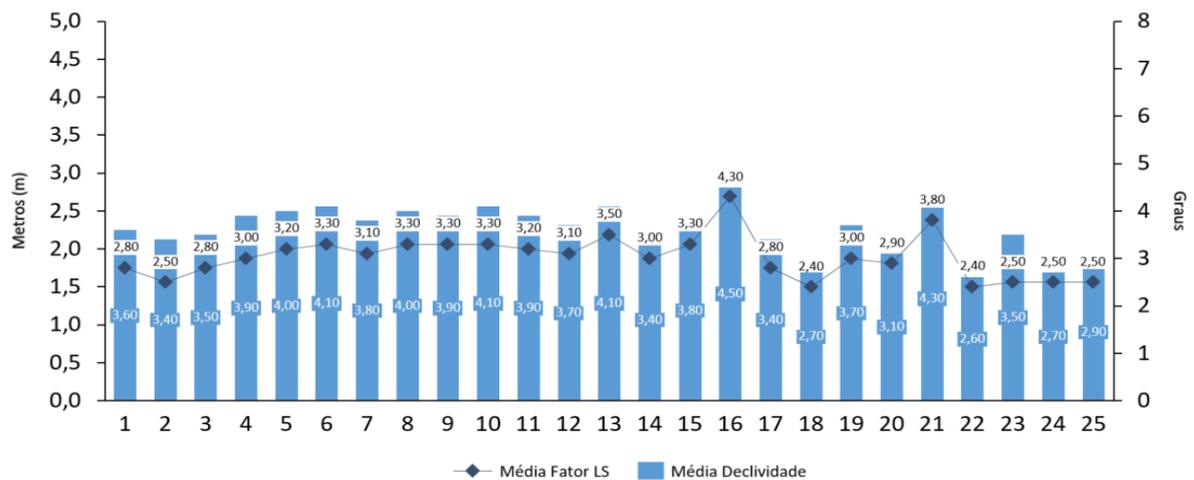


Fonte: O autor (2023).

A Bacia Hidrográfica do Rio Capim teve média de declividade variando entre 4,3 metros e 2,60 metros, de modo que esta variação tem uma representatividade no fator LS da área estudada baixa, ou seja, como mais de 90% da bacia está localizada em região plana e suave ondulada (Figura 12), este Fator pode não tem tanta relevância como agente no processo de Erosão da região.

Ferreira e Francisco (2009) em seu trabalho que estudaram o potencial a erosão na bacia do rio Caceribu RJ, com a aplicação da EUPS, obtiveram resultados que apontavam a área estudada como plana o que motivou os autores a afirmarem que os baixos valores de perda de solo encontrados no resultado final do trabalho estavam correlacionados aos baixos índices de inclinação do relevo.

Figura 12 - Valores obtidos com o MDE da Bacia do Rio Capim, localizada no Pará, Brasil



Fonte: O autor (2023).

O menor valor encontrado para o fator LS na área estudada é 0,100928 (Tabela 8), já o maior foi de 0,252194. Como a aplicação da EUPS prevê a utilização de um número para o fator LS, foi feita a média deste fator ao longo das áreas estudadas, a fim de haver um único numeral que representasse a área total. Desta forma, o valor de LS é 0,181432, o que caracteriza a área predominantemente como plana (PANAGOS *et al.*, 2015), e, conseqüentemente estes fatores não são os mais preponderantes na perda de solo da região (MORAES; SALES, 2017).

Galdino (2010) aplicou o Modelo Digital de Elevação na bacia do Alto Paraguai, com as ferramentas de sensoriamento remoto (dados *Shuttle Radar Topography Mission*) e o software LS TOOL na obtenção do fator LS da EUPS, e seus resultados demonstraram eficiência no uso desta ferramenta na estimativa deste parâmetro em grandes áreas, como é o caso da Bacia estudada nesta dissertação.

Tabela 8 -Valores de declividade, comprimento da rampa e fator LS

| Comprimento (m) | Declividade (graus) | Fator LS |
|-----------------|---------------------|-------------|
| 3,55 | 6 | 0,181074559 |
| 3,45 | 5 | 0,143418684 |
| 3,5 | 6 | 0,179463627 |
| 4 | 6 | 0,195214183 |
| 4,1 | 6,5 | 0,217914781 |

| | | |
|--------------------------|-----|-----------------|
| 4,1 | 6,5 | 0,217914781 |
| 4 | 6 | 0,195214183 |
| 4 | 6 | 0,195214183 |
| 4 | 6 | 0,195214183 |
| 4,1 | 6,5 | 0,217914781 |
| 4,1 | 6,5 | 0,217914781 |
| 3,55 | 6 | 0,181074559 |
| 4,1 | 6,5 | 0,217914781 |
| 3,45 | 5 | 0,143418684 |
| 4 | 6 | 0,195214183 |
| 4,5 | 7 | 0,252193953 |
| 3,5 | 6 | 0,179463627 |
| 3 | 4 | 0,100928142 |
| 4 | 6 | 0,195214183 |
| 3,5 | 6 | 0,179463627 |
| 4,5 | 7 | 0,252193953 |
| 3 | 4 | 0,100928142 |
| 3,5 | 6 | 0,179463627 |
| 3 | 4 | 0,100928142 |
| 3 | 4 | 0,100928142 |
| MÉDIA DO FATOR LS | | 0,181432 |

Fonte: O autor (2023).

5.4 Fator CP: Uso do Solo e Práticas Conservacionistas

Na Figura 13 observa-se que 34% da bacia está coberta por vegetação, onde a maior parcela está localizada na região central, pois há a ausência de atividades extrativistas, sedes municipais e a presença de Terras Indígenas. Percebe-se ainda que 66 % da Bacia é ocupada por áreas com presença de atividades antrópicas, sendo que 27% deste total, pertencem à classe Pastagem, predominantemente na região norte, nas proximidades dos municípios de São

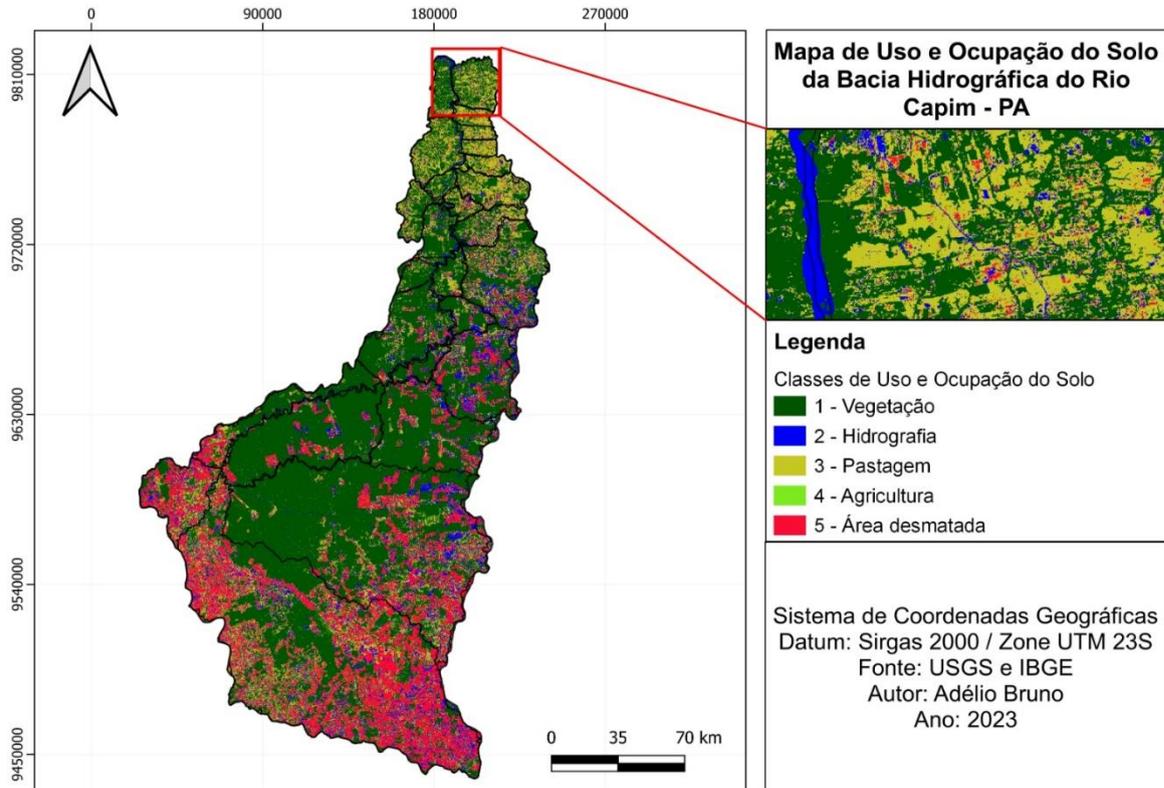
Domingos do Capim e Aurora do Pará, onde a pecuária têm destaque nas suas atividades econômicas (IBGE, 2010). Esta atividade apesar de presente no restante do território da Bacia, vai diminuindo na direção sul, e próximo à Cidade de Ipixuna do Pará, onde o minério surge com relevância econômica.

A Figura 13 demonstra uma área de solo descoberto (desmatada) na ordem de 20%, cuja localização está nas proximidades dos Municípios de Rondon do Pará, localizado na porção sul da Bacia. Segundo Bentes *et al.* (2009) esta cidade desponta como uma das mais agressivas ao meio ambiente quando o assunto é desmatamento ilegal, sendo inclusive alvo de constantes ações de fiscalização e monitoramento do Ministério do Meio Ambiente e Ministério Público Estadual (DINIZ *et al.*, 2009). Atenção deve ser dada a esta região que foi classificada com a de maior susceptibilidade a processos erosivos da Bacia Hidrográfica. Considerando o exposto por esta ser uma base forte na economia a agricultura e pecuária, sugere-se que nesta região haja um incentivo a aplicação de práticas conservacionistas, tanto vegetativas, quanto edáficas e mecânicas, em vista da proporcionalização de uma maior proteção do solo, e consequentemente uma diminuição na perda do solo.

A agricultura corresponde a 19% da área da bacia, localizada principalmente nas regiões sul e oeste que, se utilizadas com a adoção de práticas conservacionistas adequadas ajudam na conservação da área (BAHIA *et al.*, 1976; KARLEN; STOTT, 1994; MONTGOMERY, 2007).

Na discussão de seus estudos, Carvalho *et al.* (2019) afirmam que o desmatamento no estado do Pará ocorre principalmente próximo as áreas agropastoris que exercem uma pressão no meio ambiente principalmente no que tange a supressão de vegetação. Percebe-se este comportamento também na Bacia do Rio Capim onde as regiões com maior percentual de solo descoberto estão localizadas mais próximas as regiões de agricultura e pastagem. Destaca-se que a ausência de práticas conservacionistas em regiões de topografia íngreme na região amazônica pode agravar o cenário de perda de solo por erosão hídrica, com chuvas intensas trazendo prejuízos ambientais e econômicos a gestão agrícola da região.

Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Capim, com recorte na região norte, onde há predominância de pastagem, Pará, Brasil

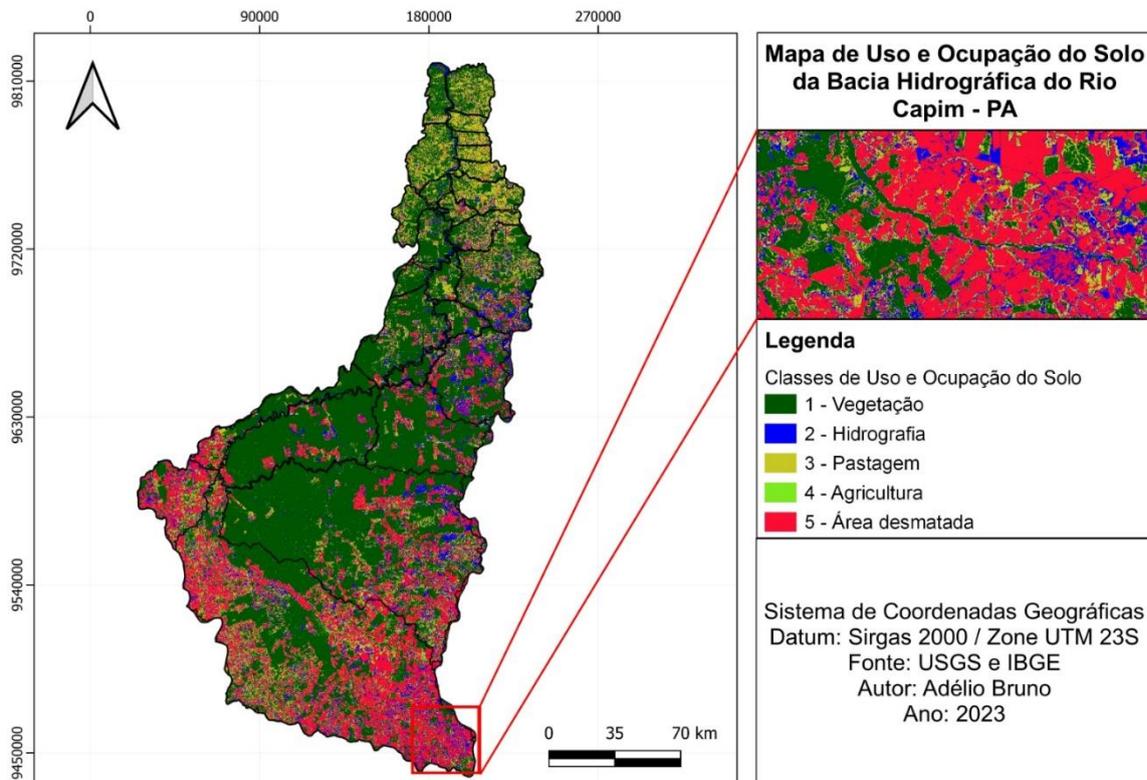


Fonte: O autor (2023).

A região sul da Bacia é a mais ocupada (Figura 14) e, a com maior presença de solo descoberto, não possuindo cobertura vegetal, o que a torna mais susceptível a erosão. Isto pode ser atribuído a rodovia BR-010, que concentra grande parte dessa ocupação em suas proximidades. A maioria dessas ocupações se manifesta na forma de vilas e povoados, com uma conexão direta com o curso principal do rio Capim até o ponto de encontro com a PA-256.

Um ponto importante para se destacar é que com a construção da Hidrovia Guamá-Capim, que abrange exatamente a parte mais alterada da bacia, é provável que ocorra uma expansão dessa degradação devido à concentração de atividades produtivas que se beneficiarão com a hidrovia.

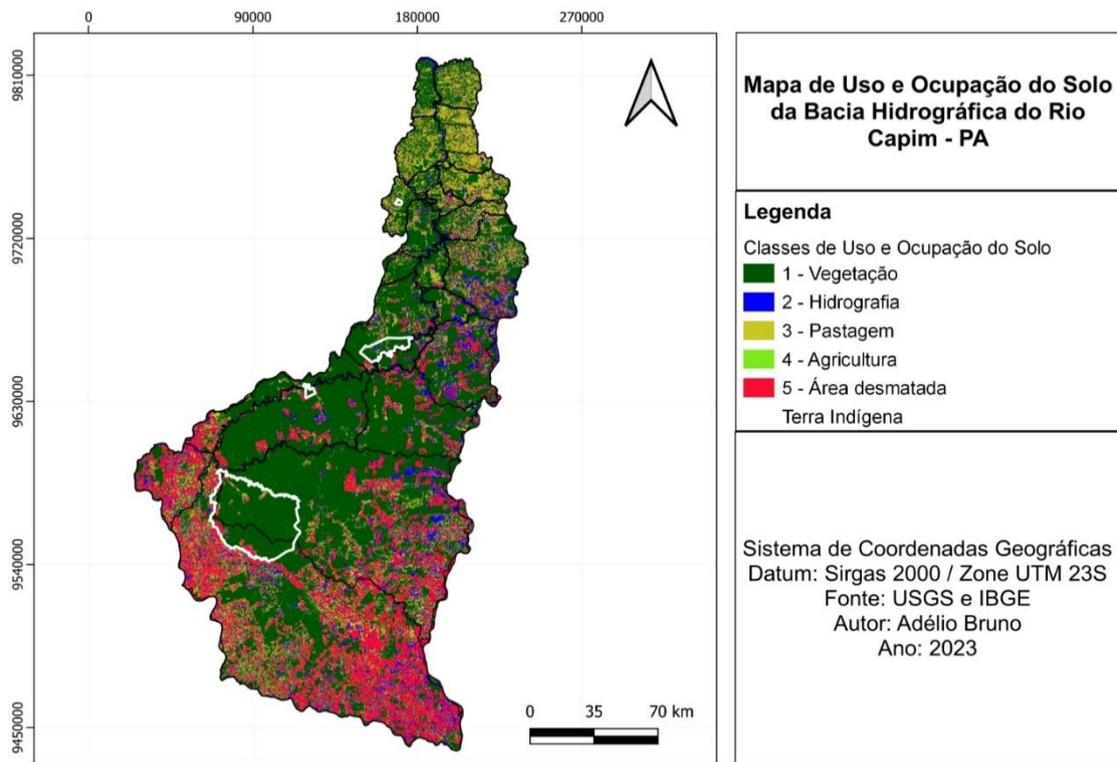
Figura 14 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Capim, com recorte na região Sul, Pará, Brasil



Fonte: O autor (2023).

Apesar de estar localizada em uma região econômica importante, nota-se que 34% da área da Bacia Hidrográfica do Rio Capim ainda possui cobertura vegetal, percentual com maior representatividade quando comparado com os outros usos do solo. Como é possível observar na Figura 15, essa área vegetada é protegida principalmente por duas Terras Indígenas (T.I), o território dos Amanayé, com a maior porção territorial ao sul. Apesar de não comportarem toda a área vegetada, as T.I's estão localizadas em pontos estratégicos da Bacia, pois agem como escudos impeditivos as regiões mais centrais. Para o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam) (2015) a criação de Terras Indígenas e Unidades de Conservação, promovem ambientes protetores da natureza, pois as sanções legais impostas por Lei impedem o avanço do desmatamento ilegal nestas áreas, e asseguram a proteção de biodiversidade.

Figura 15 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Capim, com as Terras Indígenas



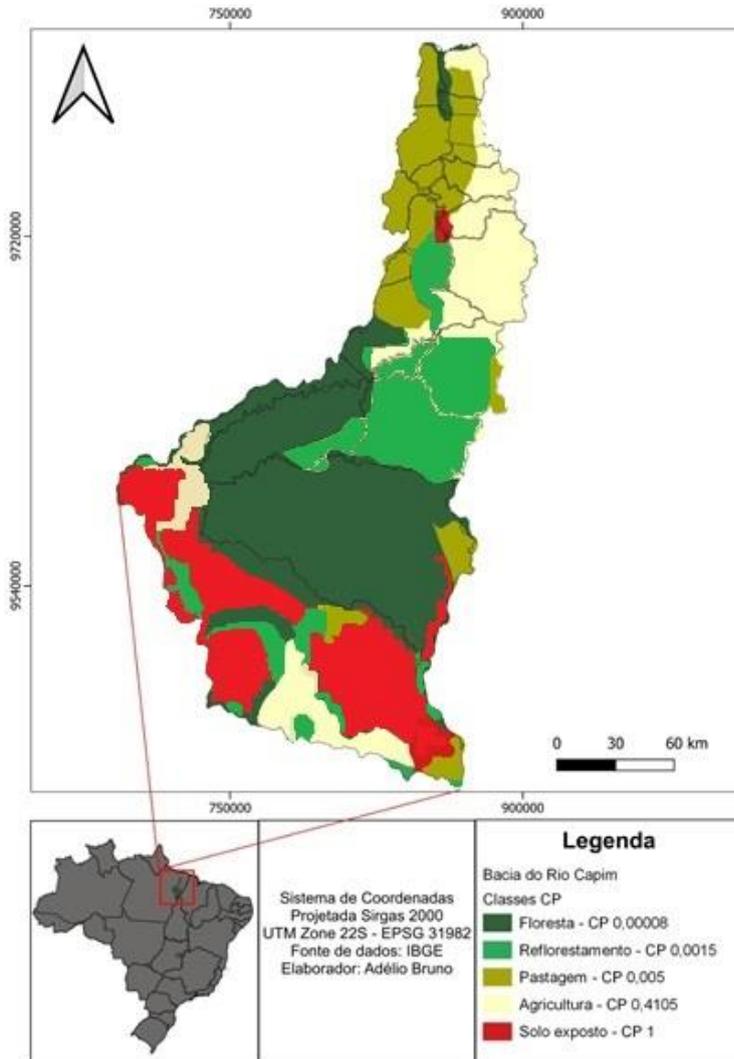
Fonte: O autor (2023).

A Figura 16 apresenta as classes de CP divididas dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, e com ela é possível observar que há uma heterogeneidade de atividades ao longo da área estudada, que segue as aptidões dos tipos de solo encontrados na região, ou seja, a parte norte onde há uma porção de GLEISSOLO HÁPLICO apresenta a maior concentração de pastagens, e ao sul e oeste onde as parcelas do ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, se misturam ao preponderante LATOSSOLO AMARELO têm-se as áreas com maior frequência de plantações.

De posse deste mapa é possível ainda observar que as regiões mais sensíveis à erosão estão localizadas ao sul e oeste da Bacia estudada pois carecem de cobertura vegetal e de práticas de manejo que proporcionariam uma maior conservação do solo (HUDSON, 1995).

Para BAHIA *et al.*, 1976, a identificação das áreas mais sensíveis a erosão faz parte do processo de planejamento e manejo das atividades de uma determinada região, de modo que com a visão proporcionada com o diagnóstico da área, é possível determinar quais áreas devem ser priorizadas na implementação de práticas conservacionistas, bem como quais destas práticas melhor se aplica a situação.

Figura 16 - Mapa de uso de identificação das Classes de CP



Fonte: O Autor (2023).

Contudo, há um padrão quanto à ocupação do solo, de modo que na região mais central, localizam-se as grandes massas de vegetação e, na região sul as áreas com solo descoberto, e, portanto mais susceptíveis a erosão. Para identificação do valor de CP na EUPS, adotou-se a média encontrada nas sub-bacias mostrado na tabela 9, cujo onde este foi de 0,091905.

Tabela 9 - Identificação do tipo de uso do solo ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Capim, Pará
 identificação do Valor de CP conforme Referências

| Sub-Bacia | Tipo de Uso do Solo | FATOR CP |
|------------------|----------------------------|-----------------|
| 1 | Agricultura | 0,04105 |
| 2 | Pastagem | 0,005 |
| 3 | Pastagem | 0,005 |
| 4 | Agricultura | 0,04105 |
| 5 | Agricultura | 0,04105 |
| 6 | Pastagem | 0,005 |
| 7 | Agricultura | 0,04105 |
| 8 | Agricultura | 0,04105 |
| 9 | Reflorestamento | 0,0015 |
| 10 | Agricultura | 0,04105 |
| 11 | Reflorestamento | 0,0015 |
| 12 | Reflorestamento | 0,0015 |
| 13 | Reflorestamento | 0,0015 |
| 14 | Floresta | 0,00008 |
| 15 | Floresta | 0,00008 |
| 16 | Solo Exposto | 1,0 |
| 17 | Solo Exposto | 1,0 |
| 18 | Floresta | 0,00008 |
| 19 | Floresta | 0,00008 |
| 20 | Pastagem | 0,005 |
| 21 | Pastagem | 0,005 |
| 22 | Pastagem | 0,005 |
| 23 | Pastagem | 0,005 |
| 24 | Pastagem | 0,005 |
| 25 | Pastagem | 0,005 |

| | |
|-------------------|----------|
| MÉDIA DO FATOR CP | 0,091905 |
|-------------------|----------|

Fonte: O Autor (2023).

O modelo gerado para o Mapa de Uso e Ocupação do Solo obteve índice excelente, pois o valor obtido de Kappa foi de 0,97, na escala proposta por Fonseca (2000), que é apresentado na tabela 10.

Tabela 10 - Classificação de desempenho segundo índices Kappa

| Índice Kappa | Classificação |
|---------------------|----------------------|
| 0 | Péssimo |
| 0.0 – 0.2 | Ruim |
| 0.2 – 0.4 | Razoável |
| 0.4 – 0.6 | Bom |
| 0.6 – 0.8 | Muito Bom |
| 0.8 – 1.0 | Muito Alta |
| > 100 | Excelente |

Fonte: Fonseca (2000).

5.6 Erosão hídrica do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Capim

O mapa de susceptibilidade a erosão da Bacia Hidrográfica do Rio Capim está apresentado na Figura 17. Nele vê-se que a porção sul da Bacia, onde há ocorrência de ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO e elevados índices de ocupação da terra, tornam a área a mais suscetível a erosão, pois sem a cobertura vegetal adequada o terreno se torna vulnerável as ações das chuvas intensas da região (KINNELL *et al.*, 2010), de modo que esta área mais vulnerável representa cerca de 3% do total da Bacia. Esta região poderia ser ainda mais frágil aos processos de erosão, contudo, como os índices pluviométricos nela não são os maiores, esta vulnerabilidade se torna menos agressiva.

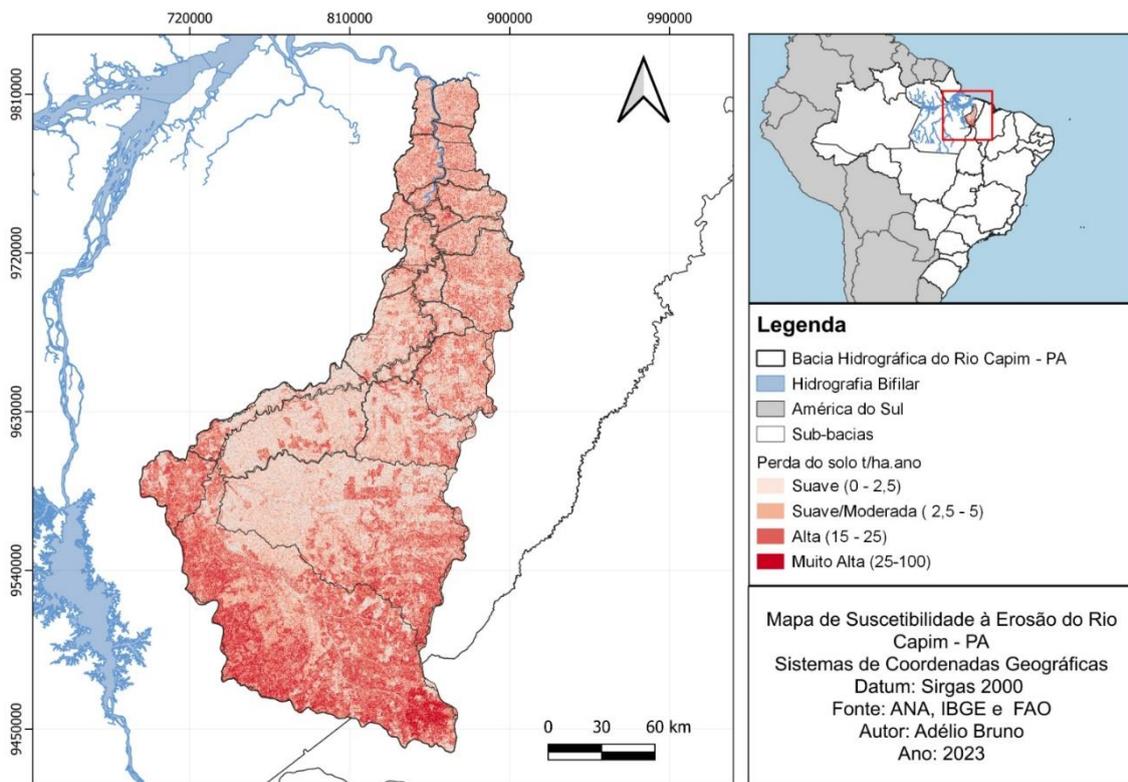
Os resultados apontam a região norte da Bacia, aproximadamente 18% da área total, com grau de erodibilidade de moderado a alto, e nesta área o fator R (Erosividade) surge como o principal agravante pois é a porção da bacia mais afetada pelos índices pluviométricos.

Nota-se também que na região central da Bacia, onde estão as porções mais vegetadas são as áreas mais resistentes a erosão, mas sua classificação é moderada, pois sofre influência da característica do LATOSSOLO AMARELO.

A região oeste surge com os valores mais relevantes para a Declividade, que somados a existência do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, com característica de alta Erodibilidade, tornam a classificação desta área como alta a erosão, que representa um total de 22% da Bacia.

Importante destacar que este mapa pode servir de subsídio na avaliação das principais interferências antrópicas que potencializam o processo erosivo na região estudada.

Figura 17 - Mapa de Erosão do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Capim



Fonte: O Autor (2023).

O valor de Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Capim foi de 3,2318 t/ha.ano, valor este que define a área estudada, segundo classificação proposta por Avanzi *et al.* (2013) como suave/ moderada (Tabela 10). Esta classificação corrobora com os resultados de Brabo (2020) que avaliou o Potencial Erosivo de São Miguel do Guamá, uma região próxima à área de estudo conforme a metodologia de Carvalho (1994), como nula ou pequena.

Olivetti (2014) realizou um trabalho visando identificar a distribuição da erosão ao

longo da sub-bacia do ribeirão Caçus-MG, e seu resultado apontou a região como prioritariamente suave e moderada, resultado muito parecido com o que esta dissertação encontrou.

Outro trabalho também no Estado de Minas Gerais que trouxe resultados parecidos com o desta dissertação e também utilizou a a versão revisada da Equação Universal de Perda de Solo, foi o de Durães (2016), onde seus resultados apontaram uma classificação majoritária da Bacia do rio Sapucaí como suave e suave moderada.

Souza (2021) com a aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos Revisada, identificou que quase 17% da área na Bacia Hidrográfica do Rio Verde no Paraná é crítica ao processo de erosão laminar, e mesmo a Erosividade sendo elevada, na ordem de 11.120 MJ.mm/ha.h.ano, ou seja, média maior que a encontrada neste trabalho para a Bacia do Rio Capim (6.997,152 MJ.mm/ha.h.ano), o percentual elevado de cobertura vegetal por reflorestamento e agricultura mostrou que 83% da região não é crítica a perda do solo.

Tabela 11 - Classes qualitativas de perda do solo segundo Avanzi *et al.* (2013)

| Perda do solo t/ha.ano | Classificação |
|-------------------------------|----------------------|
| 0 – 2,5 | Suave |
| 2,5 – 5 | Suave/moderada |
| 5 – 10 | Moderada |
| 10 – 15 | Moderada/Alta |
| 15 – 25 | Alta |
| 25 – 100 | Muito Alta |
| > 100 | Extremamente Alta |

Fonte: Avanzi *et al.* (2013).

6 CONCLUSÃO

Apesar de localizada em região com elevada intensidade pluviométrica, a Bacia Hidrográfica do Rio Capim foi classificada como de grau suave a moderado quanto a perda do solo, cujo valor estimado é de 3,2318 t/ha.ano. Esta classificação sofre influência direta do Fator K, pois há predominância em mais de 94% do território por LATOSSOLO AMARELO. Além disso, trata-se de uma região com relevo mais plano. No entanto, apesar de aproximadamente 54% do território da Bacia possuir vegetação, há um processo acentuado de uso e ocupação de solo, que impulsiona o quantitativo médio de perda do solo para classificação como moderado.

Ademais, os resultados obtidos com a utilização de ferramentas do Sistema de Informação Geográfico aplicados para encontrar as variáveis da Equação Universal de Perda do Solo, demonstram que é possível e viável o diagnóstico de áreas quanto a susceptibilidade a processos erosivos, bem como a identificação das áreas mais precárias e necessitadas da implantação de práticas conservacionistas que visem a preservação do solo e da natureza.

REFERÊNCIAS

- AIELLO, A.; ADAMO, M.; CANORA, F. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in Southern Italy. **Catena**, v.131, p.174-185, 2015.
- AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. **Catena**, Amsterdam v.64, n.1, p.247-271, 2005.
- AVOGADRO, E. G. Comparação de métodos de classificação aplicados a imagens sentinel-2 y landsat-8, para a diferenciação de plantações florestais entre rios, Argentina. **Geofocus: Revista Internacional de Cienciay Tecnología de la Información Geográfica**, n. 24, p. 8, 2019.
- ALBUQUERQUE, J. **Erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Apeú, região nordeste do Estado do Pará**. 2013. 60 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.
- ALMEIDA, C. X. de P. **Determinação do fator de erodibilidade K de substratos de mineração revegetados no Distrito Federal**. 2018. 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, Planaltina, 2018.
- AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. 2004. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. Principais Modelos para Estimar as Perdas de Solo em Áreas Agrícolas. *In*: PRUSKI, F. F. (ed.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2009. p. 74-107.
- ANACHE, J. A. A. *et al.* Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling. **Geociências**, v. 34, n. 33, p.32-40, 2015.
- ARMENTERAS, D. *et al.* Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. **Global Ecology and Conservation**, v. 17, p. e00567, 2019.
- ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia Córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, v. 26, n.6, p. 849-857, 2010.
- AVANZI, J. C. *et al.* Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 5, p. 427-434, 2013.
- BAHIA, V. G.; GUEDES, G. A.; CURI, N. **Conservação e manejo do solo**. Lavras, ESAL, 1976. 152p.

BALDASSARINI, J. S. **Recuperação de áreas degradadas por erosão hídrica em propriedades produtoras de café nos municípios de Getulina e Vera Cruz - SP.** 2013. Monografia (Curso do Departamento de Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

BATIONO, A.; MOKWUNYE, A. U. **Alley Farming Research and Development. International Institute of Tropical Agriculture (IITA).** 1991.

BASHIR, S.; JAVED, A.; BIBI, I.; AHMAD, N. **Soil and Water Conservation.** Chapter 12, 2017. p. 263-284.

BARROS, E.N.S *et al.* Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2018.

BENTES, S. E.; BENTES, S. L.; AMIN, M. M. **Análise Socioeconômica e Ambiental dos Municípios Líderes do Desmatamento no Estado do Pará.** *In:* VIII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Cuiabá - Mato Grosso – Brasil. 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 7. ed. São Paulo: Ícone. 1990. 355 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 7. ed. São Paulo (SP): Ícone, 2010. 355 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATI JÚNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas. *In:* **Boletim Técnico**, 21. Instituto Agronômico de Campinas, 1975. 25 p.

BESEN, M. R. *et al.* Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. Santa Catarina. **Scientia Agropecuária**, v. 9, n. 3, 2018.

BEZERRA, S.A. *et al.* Características da erosão em sulcos em um cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1325-1332, 2010.

BHATTARAI, R.; DUTTA, D. Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS at Catchment Scale. **Water Resources Management**, v. 21, p. 1635-1647, 2007.

BORGES, K.M.R. 2009. **Avaliação de susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda dos Solos.** 2009, .68p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2009.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará - A importância do uso racional de fertilizantes e calcário. **Revista Paraenses**, v. 2, p. 55-66, 2009.

BRABO, L. S. **Potencial Erosivo de São Miguel do Guamá, Nordeste Paraense**. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia. Instituto de Geociências, Belém, 2020.

BRADY, N. C.; Weil, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. Pearson. 2008.

CANTALICE, J. R. B. *et al.* Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 29, p.597-607, 2005.

CARMO, A. M. *et al.* Análise do Risco Ambiental à Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE, Topodata e Landsat 8. In: **Anais [...]**. João Pessoa-PB: INPE. 2015. p. 5927 5934.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CARVALHO, M. P.; CATANEO, A.; LOMBARDI NETO, F. **Fator erosividade da chuva e enxurrada para chuvas individuais de Pindorama (SP)**. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 10., Florianópolis, 1994. p.150-151.

CARVALHO, R. *et al.* Changes in secondary vegetation dynamics in a context of decreasing deforestation rates in Pará, Brazilian Amazon. **Applied Geography**, v. 106, p. 40-499, 2019.

CASTILLO, C. *et al.* Comparing the Accuracy of Several Field Methods for Measuring Gully Erosion. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 4, p.1319- 1332, 2012.

CASTRO, S. H., REIS; R. P.; LIMA, A. L. R. Custos de produção da soja cultivada sob sistema de plantio direto: estudo de multicasos no oeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 1146-1153, 2006.

CHAVES, R. D. **Estimativa da produção de sedimentos e da perda de solo com o uso de um MDE obtido por um Veículo Aéreo Não Tripulado**. 2017, 90p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

CHAVES, H. M. L. Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco. In: **Relatório Final de Consultoria**. Brasília: CODEVASF – FAO, 1994. 35 p.

CORRECHEL, V. **Avaliação de Índices de Erodibilidade do solo através da Técnica da Análise da Redistribuição do "Fallout" do ¹³⁷Cs**. 2003, 99 p. Tese (Doutorado em Ciências), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

COSTA, L. C. O. **Trajatória das mudanças de uso e cobertura da terra em estimativas de perda de solo em uma região de expansão agrícola na Amazônia: A bacia do Rio Curuá. Una, PA**. 2018. 102 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2018.

COSTA, C. E. A. S. **Influência da variabilidade climática das chuvas sobre a Erosividade**. 2016. 88f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará. Belém, 2016.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2013. 336 p.

CREPANI, E. *et al.* Zoneamento ecológico econômico. *In*: FLORENZANO, T. G (org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. P.285-317

DE-MIGUEL, S.; SANCHEZ, R. Soil Erosion under Different Rainfall Regimes and Gradients in Cultivated Terraced Fields. **Catena**, v. 118, p. 229-239, 2014.

DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias Aplicadas à Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Hídrica na Sub-bacia do Ribeirão das Perobas, Município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP**. 2012. 150f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DÉSTRO, G. F. G.; CAMPOS, S. SIG SPRING na caracterização do uso dos solos a partir de imagens do satélite CBERS. **Energia na Agricultura**, v. 21, n.4, p.28-35. 2006.

DIAS, G. F. D. M. **As mudanças no uso e cobertura da terra e o comportamento hidrológico da bacia do rio Capim**. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia. Instituto de Geociências, Belém, 2018.

DINIZ, B. M.; JUNIOR, O. de N. J.; NETO, T. N.; DINIZ, T. J. M. Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. **Nova Economia**, v.. 19, n.1, p 121-151, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. - Brasília,DF. 2018.

ENGEL, B. **Estimating soil erosion using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) and the ArcView GIS**. Purdue: (s.n), 2003. Disponível em: http://intranet.catie.ac/intranet/posgrado/Hidro2006/trabajo_final/documentos/erosion_usle/estimacion_erosion_rusle_arcview.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.

FARINASSO, M. *et al.* Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da eups equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em sig para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-87, 2006.

FERREIRA, A. S.; FRANCISCO, C. N. Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para avaliação de processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu, RJ. **Anais... XIV Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, Natal, Brasil, 25-30 de abril 2009. INPE, p. 3777-3784.

FERNÁNDEZ, S. *et al.* Integration of Geographical Information Systems and Sediment Transport Models for Soil Erosion Assessment in Watersheds. **Water**, v. 12, n. 4, p. 1157, 2020.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to si metric units. **Journal Soil Water Conservation**, v. 36, p. 355-359, 1981.

FRANKENBERGER, J. R.; HUANG, C.; NOUWAKPO, K. Low-Altitude Digital Photogrammetry Technique to Assess Ephemeral Gully Erosion. IGARSS, 2008 – 2008. *In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2009.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste Paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GALDINO, S.; WEILL, M. de A. M. Estimativa e análise do fator Topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari – MS/MT. *In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, 3., **Anais...** Cáceres-MT: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, out. 2010. p. 260-269.

GAMA, J. R. N. F.; RODRIGUES, T. E.; CARDOSO JUNIOR, E. Q. **Levantamento dos solos e uso atual do campo experimental de Terra Alta, Pará**. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2000.

GOMES, L. L. **Avaliação espacial da perda de solo por erosão pela equação universal de perda do solo (EUPS) – pilha de estéril sul – Carajás/PA**. 2012. 172 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

GOMES, D.; LIMA, A.; JUNIOR, J.; SERÃO, E. Impactos das mudanças de uso da terra e dos eventos climáticos extremos em sistemas hidrológicos da Amazônia Oriental - Bacia do rio Capim (PA-MA). **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 12, n. 2, p. 153 - 172, 2018.

GÓMEZ, J. D. P. **Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território Brasileiro**. 2012. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

GONÇALVES, F. A. **Validação do Modelo WEPP na Predição de Erosão Hídrica para Condição Edafoclimática da Região de Viçosa-MG**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

GUPTA, R. K.; LARSON, W. E. Soil as a Sustainable Resource for the Bioeconomy. **Advances in Agronomy**, v. 153, p. 131-178, 2019.

HAGEN, L. J. Plant Environment and Erosion. *In*: ANDERSON G. M.; BROOKS, S. (eds.), **Advances in Erosion Control**. American Society of Agronomy. 1996, pp. 77-101.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -IBGE. **Estatísticas por cidade e estado**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/sao-miguel-doguama/panorama>. Acesso em: 29 jun. 2022.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistics**. Oxford University Press, New York, 1989.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. **Agricultural Management Practices to Control Erosion and Manage Soil Quality**. Lewis Publishers. 1994.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the universal soil loss equation Family. **Journal Hydrology**, v. 385, n. 1, p. 384-397, 2010.

LAL, R. Conservation Tillage for Sustainable Agriculture: Tropics vs. Temperate Environments. **Advances in Agronomy**, v. 55, p. 319-354, 1995.

LANZA, D. S. **Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do rio Paraopeba**. 2011. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

LEHMANN, D. H. *et al.* Cobertura do solo em vinhedos modifica os atributos do solo e o estado nutricional das videiras. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 3, p. 198–207, 2016.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos. 2010. 216p

LIMA, J. E. F. W. *et al.* Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do Alto Rio Jardim - DF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, p. 21-34, 2007.

LI, Z., ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital terrain modelling: Principles and methodology**. CRC Press.2005.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W; CHIPMAN, J.W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: J. Wiley, 2015.

LIMA, A. M. M.; PONTE, M. X. Dinâmica da Paisagem da Bacia do rio Capim-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 1. p. 127-142, 2012.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Cálculo de densidade pelos critérios da OMM e espacialização de novas estações P e Pr na Sub-Bacia 85. *In*: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais [...]** do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, v. 1. p. 1-8. 2015.

- MATOS, T. V. S. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- MCCOOL, D. K. et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASABE**, n. 30, p. 1387–1396, 1987.
- MELO FILHO, J. F. de; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. da S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1599–1608, 2007.
- MONTGOMERY, D. R. Soil Erosion and Agriculture: How to Save a Planet by Putting Soil Back on the Land. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, n. 1, p. 5-13, 2018.
- MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007.
- MORAES, R. C. S.; SALES, M. C. L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v.27, n. 1, 2017.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**, 3.ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. 304 p.
- NIMER, E. Clima. *In*: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**. v.5. Rio de Janeiro: SERGRAF – Superintendência de Estudos Geográficos e Sócio-Econômicos, Departamento de Geografia, 1977. p. 534
- NOBRE, C. A. et al. "A study of the hydroclimate of the Amazon Basin during the dry season." **Earth Interactions**, v. 3, n. 2, p. 1-26, 1991.
- OLIVEIRA, J. R. et al. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 140–147, 2010.
- OLIVEIRA, J. A. **Extensão sig para cálculo automático das perdas de solo a partir da EUPS**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Salvador, 2014.
- OLIVEIRA, J. S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solos em ambiente SIG**. 2012. 103p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. de Mestrado, 2012.
- OLIVEIRA, A. H. *et al.* Development of Topographic Factor Modeling for Application in Soil Erosion Models. *In*: SORIANO, M. C. H. **Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment**. Rijeka, InTech, 2013. p. 111-138.

PAIM, J. B. **Aplicação da Equação Universal de Perdas do Solo para a Bacia Hidrográfica do Rio Piçarras utilizando técnicas de geoprocessamento**. 2012. 64p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. **Geosciences**, v. 5, p. 117-126, 2015.

PARANHAS FILHO, A. C. *et al.* Avaliação multitemporal das Perdas de Solos na bacia do Rio Taquarizinho-MS. **Boletim Paranaense de Geociências**, n.52, p. 49-59, 2003.

PASQUATTO, M. C.; TOMAZONI, J. C. Estudo do processo erosivo laminar na bacia de captação do rio Barro Preto, em Coronel Vivida-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n. 2, p. 555-570, 2016.

PANACHUKI, E. *et al.* Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura- pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Science of Agronomy**, v. 28, p. 129-137, 2006.

PES, L. Z.; GIACOMINI, D. A. **Conservação do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Rede e-Tec Brasil, 2017. 69 p.

PINHEIRO, M. R.; REDIVO, I. A. C. Técnicas aerofotogramétricas digitais aplicadas ao estudo da erosão. **Revista do Instituto Geológico**, v. 37, n. 1, p. 49-63, 2016.

POESEN, J. Challenges in gully erosion research. **Landform Analysis**, v. 17, p. 5-9, 2011.

PRADO, H. **Pedologia Fácil: aplicações**. 3 ed. Piracicaba, 2011. 180 p.

PROJETO RADAMBRASIL. **Geomorfologia**. Folhas SA.23/24. São Luiz/Fortaleza, Rio de Janeiro, RJ, 1973b.

RABELO, C. G. *et al.* Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma cerrado: um estudo comparativo entre as bacias hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Ambi-Agua**, v. 4, n. 2, p.172-187, 2009.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTON, K. E. Estimation of Soil Water Properties. **Transactions of the ASAE**, v. 46, n. 3, p. 513-520, 2003.

RELATÓRIO ANUAL DO DESMATAMENTO NO BRASIL 2020 - São Paulo, Brasil - **MapBiomias**, 2021 - 93 p. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/rad2020/RAD2020_MapBiomiasAlerta_FIN_AL.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.

RENARD, K. G. *et al.* **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. USDA Agriculture Handbook, 1997. 703p.

- RODRIGUES, T. E. *et al.* **Caracterização e Classificação dos Solos do Município de Paragominas, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental - Documentos 162. 2003. pp. 1-49.
- RODRIGUES, J. A. M. *et al.* estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo - MG. **Geociências**, v. 36, n. 3, p. 531-542, 2017.
- SALES, F. O. **Ciências exatas e da terra: exploração e qualificação de diferentes tecnologias 4.** – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/download-post/44769>. Acesso em: 10 set. 2023.
- SANTOS, D. B. O. **Aplicação da rusle em uma pequena bacia hidrográfica Amazônica.** 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- SILVA, A. B. *et al.* Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no Agreste Pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.2, p. 299-307, 1999.
- SILVA, B. A. **Avaliação de voçorocas e da suscetibilidade erosiva da porção sul da bacia Meia Ponte, GO.** 2018. Dissertação (Mestrado) - Programa de PósGraduação em “Ambiente e Sociedade”. Universidade Estadual de Goiás, Morrinhos, 2018.
- SILVA, F. D. G. *et al.* Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim–SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 141-148, 2010.
- SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima - Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.
- SILVA N. de S. *et al.* Ocorrência de Ondas de Calor com Dados de Reanálises em áreas do Nordeste, Amazônia e Centro-Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 4, p. 441–51, 2022.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH. **Portal HidroWeb v.3.1.1. Séries Históricas.** Agência Nacional de Águas – ANA. Disponível em: www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas.
- SOUZA, C. K. *et al.* Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1067-1074, 2003.
- SMITH, J. *et al.* Conservation Practices and Soil Erosion Control: A Comprehensive Review. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, n. 1, p. 1-17, 2018.
- SMITH, J. Reliability in Statistics: How to Calibrate and Validate Machine Learning Models. **Journal of Data Science**, v. 10, n. 2, p. 123-137, 2021.

SMITH, J. *et al.* Sustainable Soil Management: A Global Perspective. **Soil Science Society of America Journal**, v. 84, n. 2, p. 362-372, 2020.

SOUZA, A. R. C. D. **Aplicação da equação universal de perdas de solos revisada (RUSLE) na quantificação da erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio Verde–Região Oeste do Paraná.** 2021. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Centro de Ciências Humanas, Paraná, 2021.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais.** Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015. 376 p.

STEIN, D. P. *et al.* Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Parapanema. *In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, 4, Marília, 1987. **Anais...** Marília, p. 105-135. 1987.

TAMBOSI, L. R. *et al.* Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o código florestal. **Revista Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 151 – 162, 2015.

TAUBENBÖCK, H.; WEGMANN, M.; ROTH, A. Urbanization in India: Spatiotemporal analysis using remote sensing data. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 32, n. 2, p. 87-97, 2008.

TELLES, T. S.; GUIMARÃES M. F.; DECHEN, S. C.F. The costs of soil erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 287-298, 2011.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da eupes em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 3, p. 235-244, 2005.

TORRES, L. C.; BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V. de. Alterações na qualidade física de um latossolo amarelo sob pastagem. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 4, p. 419–26, 2014.

UEMA, D. Y. **Quantificação de perdas de solos em bacia hidrográfica de primeira ordem: Córrego Zaúna, Maringá – PR.** 2018. 101p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

VALENTIN, E. F. D. **Modelagem Dinâmica de Perdas de Solo: o Caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto – DF/GO.** 2008. 149p. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. *In: FLORENZANO, T. G (org.). Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais.* São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 72-104.

VALLE JUNIOR, R. F. do. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do Rio Uberaba.** 2008. 222p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 2008.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo, McGraw-Hill, 1989. 509 p.

VIEIRA, M. N. F. *et al.* **Levantamento e conservação do solo**. 2. ed. Belém: FCAP, Serviço de documentação e informação. 2000. 320 p.

WALTRICK, P. C. et al. Estimativa da erosividade de chuvas no Estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, n. 1, p. 256-267, 2015.

WANG, B.; XIANG, B.; LEE, J. Y. Subtropical Highs. *In: The Global Monsoon System: Research and Forecast*. World Scientific.2016. p. 61-97.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**, n. 537, 58 p, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: Guide for selection of practices for soil and water conservation. Agricultural Research Service - USDA, 1965.

ZANINI, M. S., RIBEIRO, J. C. Morfopedologia aplicada ao controle dos processos erosivos na sub-bacia do córrego Piraputanga, em reserva do Cabaçal/MT. **Revista Equador**, v. 10, n. 2, p. 40 – 65, 2021.

ZHENG, F. *et al.* Assessing the Accuracy and Feasibility of Using Close-Range Photogrammetry to Measure Channelized Erosion with a Consumer-Grade Camera. **Remote Sensing**, v.12, p. 1706, 2020.

ZIA-UR-REHMAN, M. *et al.* Degraded Soils: Origin, Types and Management. *In: HAKEEM, K. R.; AKHTAR, J.; SABIR, M. (ed.). Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives*. Springer, 2016. p 23-65.

ZONTA, J. H. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Circular técnica 133, Embrapa. Campina Grande, PB, Setembro, 24 p. 2012.