UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE – IEAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA

Zoneamento do Potencial de Perda de Solo e Parâmetros de Erodibilidade do Solo no Sul do Amazonas

RENILDO MELO DE FREITAS

Humaitá-AM
Julho/2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE – IEAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA

Zoneamento do Potencial de Perda de Solo e Parâmetros de Erodibilidade do Solo no Sul Do Amazonas

RENILDO MELO DE FREITAS

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

ORIENTADOR: PROF. DR. DOUGLAS MARCELO PINHEIRO DA SILVA

COORIENTADOR: PROF. DR. VAÍRTON RADMANN

Humaitá-AM,
Julho/2024

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

D278z

de Freitas, Renildo Melo
Zoneamento do potencial de perda do solo e parâmetros de erodibilidade do solo no sul do amazonas / Renildo Melo de Freitas . 2024
60 f.: 31 cm.

Orientador: Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
Coorientador: Vaírton Radmann
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Usle. 2. Arco do desmatamento. 3. Erosão. 4. Sustentabilidade. I. Silva, Douglas Marcelo Pinheiro da. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE – IEAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA

FOLHA DE APROVAÇÃO

ZONEAMENTO DO POTENCIAL DE PERDA DE SOLO E PARÂMETROS DE ERODIBILIDADE DO SOLO NO SUL DO AMAZONAS (LINHA DE PESQUISA 01 – componentes e dinâmicas dos ecossistemas com ênfase no bioma amazônico)

RENILDO MELO DE FREITAS

Dissertação defendida e aprovada em 26 de julho de 2024, pela comissão julgadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
DOUGLAS MARCELO PINHEIRO DA SILVA
Data: 31/08/2024 08:04:28-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

gov.br Documento assinado digitalmente
BRUNO CAMPOS MANTOVANELLI
Data: 01/09/2024 14:57:09-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Bruno Campos Mantovanelli

gov.br Documento assinado digitalmente
RENATO FRANCISCO DA SILVA SOUZA
Data: 01/09/2024 15:05:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Renato Francisco da Silva Souza

DEDICATORIA

Ao meu bondoso e amado Deus, pelo dom da vida, aos meus pais, pelo amor, educação, valores e incentivos, minha família pelo amor, confiança e apoio moral.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, motivo principal de todas as coisas existirem" "Por ter me dados forças para concluir este projeto de forma satisfatória" "Devo inteiramente a Deus o sucesso deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas a(FAPEAM).

Ao meu orientador Prof. Dr. **DOUGLAS MARCELO PINHEIRO DA SILVA** ao meu coorientador Prof. Dr. **VAIRTON RADMANN** pelos ensinamentos e orientação durante o curso de Pós-Graduação, ao **BRUNO CAMPOS MANTOVANELLI** pelo apoio recebido.

Aos demais professores que fazem e fizeram parte do Programa de PósGraduação – PPGCA, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente pelos ensinamentos transmitidos.

A minha família, em especial a minha mãe **ZILDA MELO DE FREITAS** pelo amor e dedicação, por dar parte de sua vida em razão de mim, pelo meu querido Pai (in memoriam) pelos ensinamentos e por sua dedicação, e amor concedido, a minha irmã **CHEILA MELO DE FREITAS** pela confiança e apoio moral, aos meus irmãos **RONALDO MELO DE FREITAS, ROSIVALDO MELO DE FREITAS e ROGÉRIO MELO DE FREITAS** pelo apoio e amor concedido, a todos os meus sobrinhos que de forma direta e indiretamente me apoia.

A minha esposa **JAINE ALVES DE ALMEIDA** pelo amor, vivência e companheirismo, a meu amado e querido filho **ANTONI ALVES MELO** pela confiança, amor e por ser minha inspiração de vida.

Aos amigos do curso de Pós-Graduação **FELIPE DA COSTA WECKNER**, **ANA CRISTINA**, **CARMEN MALAFAIA**, **ELTON FRANÇA**, enfim, a todos que de alguma forma fizeram parte desta minha jornada, agradeço pelos momentos de descontração, companheirismo e longos estudos.

EPÍGRAFE

Quem abraça a natureza, entende a sabedoria da vida.
Deyvison Souza.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **7**
2. JUSTIFICATIVA **10**
3. OBJETIVOS **11**
3.1. GERAL 11
3.2. ESPECÍFICOS 11
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **12**
4.1. O SOLO: IMPORTÂNCIA DA FERTILIDADE E MANEJO 12
4.2. EROSÃO DO SOLO 14
4.3. CAUSAS DA PERDA E DEGRADAÇÃO DO SOLO 17
4.4. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (USLE) 19
4.5. EROSÃO E DEGRADAÇÃO DE SOLOS NO SUL DO AMAZONAS 21
5. METODOLOGIA **24**
5.1. CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DAS ÁREAS PARA O ESTUDO 24
5.2. ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO 25
5.3. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO 26
5.4. OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS 26
5.5. CÁLCULO DA EROSIVIDADE (R) 26
5.6. CÁLCULO DA ERODIBILIDADE (K) 27
5.7. FATOR TOPOGRÁFICO (LS) 27
5.8. USO DO SOLO (C) E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P) 28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO **29**
7. CONCLUSÃO **48**
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **50**

RESUMO: A derrubada de florestas para atividades agropecuárias é uma prática que tem sido rotineira na Amazônia e isso causa impactos ambientais significativos. A retirada da cobertura vegetal provoca a diminuição da biodiversidade, extinção de espécies animais e vegetais, desertificação, erosão, redução dos nutrientes do solo, contribui para o aquecimento global, entre outros danos. A busca por ferramentas que auxiliem na sustentabilidade do meio ambiente e conservação do recurso solo é fundamental para o planejamento e tomada de decisão em áreas com potencial para perda e degradação do solo. Portanto, a presente pesquisa torna-se oportuna por contribuir no levantamento das estimativas das taxas de perdas de solo por erosão, fazendo o uso de ferramentas importantes como a Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation – USLE), como também o uso de ferramentas SIG, que potencializa a mitigação de futuros impactos ambiental e social como também a preservação do recurso solo. O presente trabalho tem como objetivo estabelecer o zoneamento do potencial de perda de solo e parâmetros de erodibilidade em ambientes naturais e antropizados no Sul do Amazonas. O estudo compreende uma faixa de área localizada ao sul do Amazonas, aproximadamente 2500 km². Nesta faixa encontram-se áreas com estudos de levantamento realizados desde o ano de 2007 que englobam os municípios de Humaitá, Manicoré e Apuí. O modelo de cálculo da perda de erosão potencial utilizado foi utilizado a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) de Wischmeier e Smith (1978), com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica, o software ArcGis 10.2.1, onde os fatores de solo, pluviosidade, relevo, uso do solo e práticas conservacionistas serão espacializados para toda área em estudo. Através deste estudo foi possível verificar a sensibilidade das diferentes equações regionais desenvolvidas para cálculo do fator de erosividade da chuva e erodibilidade do solo das áreas observadas. Quanto à influência da alteração dos fatores de uso e ocupação do solo em relação à sua erodibilidade, observou-se significativas alterações na distribuição de áreas quanto a suscetibilidade erosiva entre os quatro cenários. Concluiu-se ainda que as maiores médias de erosividade ocorrem entres os meses de janeiro a março e outubro a dezembro, devido ao maior indíce pluviométrico na região, independente do cenário estudado, assim como as menores médias decorrem entre os meses de junho a agosto, sendo os meses de abril e maio e setembro a outubro, considerados de transição entre os períodos climáticos no Amazonas. Por fim, os resultados da aplicação indicam que a ferramenta pode ser utilizada na diferenciação dos potenciais erosivos entre áreas com diferentes usos e ocupação do solo, diferentes tipos de solos e diferentes declividades, sendo possível criar mapas variados para área em estudo, fornecendo informações úteis para tomadores de decisão, que possam priorizar e implementar as melhores práticas de gestão para reduzir a carga de erosão.

Palavras chave: USLE. Arco do desmatamento. Erosão. Sustentabilidade.

ABSTRACT: The felling of forests for agricultural activities is a routine practice in the Amazon and this causes significant environmental impacts. The removal of vegetation cover causes a decrease in biodiversity, extinction of animal and plant species, desertification, erosion, reduction of soil nutrients, and contributes to global warming, among other damages. The search for tools that assist in environmental sustainability and conservation of soil resources is fundamental for planning and decision-making in areas with potential for soil loss and degradation. Therefore, this research is timely as it contributes to the survey of estimates of soil loss rates due to erosion, making use of important tools such as the Universal Soil Loss Equation – USLE, as well as the use of GIS tools, which enhances the mitigation of future environmental and social impacts as well as the preservation of soil resources. The present work aims to establish the zoning of soil loss potential and erodibility parameters in natural and man-made environments in the South of Amazonas. The study covers a strip of area located south of Amazonas, approximately 2500 km². In this range are areas with survey studies carried out since 2007 that include the municipalities of Humaitá, Manicoré and Apuí. The model for calculating potential erosion loss used was the Universal Soil Loss Equation (USLE) by Wischmeier and Smith (1978), with the aid of a Geographic Information System, the ArcGis 10.2.1 software, where the factors soil, rainfall, relief, land use and conservation practices will be spatialized for the entire area under study. Through this study it was possible to verify the sensitivity of the different regional equations developed to calculate the rain erosivity factor and soil erodibility in the observed areas. Regarding the influence of changes in soil use and occupation factors in relation to its erodibility, significant changes were observed in the distribution of areas in terms of erosive susceptibility between the four scenarios. It was also concluded that the highest erosivity averages occur between the months of january to march and october to december, due to the highest rainfall in the region, regardless of the scenario studied, just as the lowest averages occur between the months of june to august, the months of april and may and september to october are considered transitional periods between climatic periods in Amazonas. Finally, the application results indicate that the tool can be used to differentiate erosion potentials between areas with different land uses and occupation, different types of soil and different slopes, making it possible to create varied maps for the area under study, providing useful information for decision makers, who can prioritize and implement best management practices to reduce erosion load.

Keywords: USLE. Arc of deforestation. Erosion. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O solo é a base de sustentação de todo habitat vegetal e animal, decorrente da interação dos fatores de sua formação: clima, relevo, organismos e tempo sob um material de origem, garantindo a sustentação da vegetação. O solo é considerado um recurso natural, tornando-se de extrema importância, pois possui a capacidade de promover a produção de alimentos, sendo fundamental na proteção ambiental e exercendo funções importantes, como: meio para o crescimento vegetal, estoca e promove a ciclagem de nutrientes e a regulação do fluxo da água para o lençol freático (SILVA et al., 2020).

Segundo Alcântara (1998), é um sistema natural vivo e dinâmico que regula a produção de alimentos, fibras e o equilíbrio global dos ecossistemas terrestres, sendo necessária atenção especial no que se refere às práticas de manejo que propiciam o acúmulo de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes e que evitem o declínio da fertilidade dos solos. Há uma crescente tendência nos estudos e reflexões acerca do uso de práticas e métodos que visem esses cuidados com o solo e que reconheçam a importância da matéria orgânica como condicionadora do ambiente edáfico, bem como fornecedora de nutrientes.

Solos cultivados são limitantes para a produção de alimentos, pois os cultivos seguidos tendem a diminuir a fertilidade. Nos trópicos, onde a pressão populacional é maior, a expansão agrícola dependerá essencialmente do cultivo de solos “velhos” (solos que ficaram muito tempo expostos à ação das chuvas e do sol e consequentemente são mais pobres em nutrientes), ácidos, de baixa fertilidade nutricional ou com problemas de deficit hídrico. Ante as peculiaridades da agricultura nas regiões tropicais, onde se insere o Brasil, torna-se necessário o conhecimento detalhado das características e propriedades químicas e físicas dos solos, objetivando seu manejo adequado, o uso mais apropriado de insumos e produções mais rentáveis (RONQUIM, 2010).

O manejo e a conservação dos solos agrícolas são duas atividades que não deveriam ocorrer de forma separada. Enquanto a conservação diz respeito a diversas técnicas mecânicas ou vegetativas que visam conter o escoamento livre da água sobre o solo, a fim de evitar a erosão, o manejo diz respeito a todas as ações que

garantem a manutenção da qualidade do solo, auxiliam no controle da erosão e garantem a produtividade (MICHELOTTO, 2018).

A consequência do manejo do solo de forma inadequada resulta no abandono de áreas antes produtivas por conta dos baixos índices de produtividades das culturas e ocorrência de processos erosivos. O uso do fogo torna-se outro fator que provoca degradação dos solos, esse manejo a longo prazo causa prejuízos para a fauna do solo, para as características físicas, químicas, e resulta em pouca ou nenhuma matéria orgânica no solo (LONGO et al., 2011).

Grande parte dos solos mundiais estão degradados. Desta forma, faz se necessário conhecer os motivos que levam a infertilidade, suas consequências para a nossa sobrevivência e para a natureza, bem como buscar meios alternativos de produção para frearmos o avanço da degradação. É uma das metas pretendidas pelas Nações Unidas até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo tão importante para a produção de alimentos (SILVA, 2020).

Na mesma linha de pensamento, Panagos et al. (2015) complementam que a erosão do solo está entre as 8 maiores ameaças ao solo, sendo responsável parcialmente em impactos negativos no setor alimentício, qualidade da água, assoreamento de rios, equilíbrio de ecossistemas, pois afeta o ciclo hidrológico.

A degradação do solo traduz-se na perda atual ou potencial de produtividade ou utilidade em resultado de fatores naturais ou antropogênicos (LAL, 1997). Práticas constantes como derrubadas de florestas para abertura de novas áreas de produção agrícola e pecuária, os ditos “arco do desmatamento e fronteiras agrícolas” são as principais atividades que predominam na região amazônica. Nestes sistemas, a maioria das práticas não são conservacionistas. Havendo grande utilização de agrotóxicos e herbicidas, que são aplicados e levemente incorporados na superfície do solo (BERTOL et al., 2007). E o uso exagerado destes produtos químicos pode levar a degradação dos solos.

De acordo com o relatório do ano de 2015 da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a degradação é um problema grave que

atinge 33% das terras no mundo todo. A intensidade contínua das ações antrópicas resulta em solos com altos potenciais para perdas e degradação. A erosão do solo é considerada como a principal e mais generalizada forma de degradação do solo e, portanto, o principal risco ambiental (MARTINS & PEREIRA, 2014). A erosão consiste no processo de desgaste, transporte e sedimentação das rochas e dos solos causada pelos efeitos da ação dos fatores erosivos, como a água, ventos e os seres vivos (SÁ et al., 2019).

Tendo em vista que a degradação dos solos afeta a sustentabilidade do agroecossistema como um todo (NAVAS et al., 2005), os métodos de avaliação de impactos ambientais e de perdas de solo surgem como importantes ferramentas para prevenir e mitigar essa perda de solo. Para tanto, o levantamento e identificação de áreas com potencial para degradação (natural ou antrópica) de solos contribui de forma satisfatória para a prevenção deste recurso, promovendo um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e sustentável, o chamado equilíbrio entre o homem e a natureza.

Perante a isto, a busca por alternativas sustentáveis se faz importante uma vez que as atividades que causam impactos nesses municípios da região Amazônica são contínuas, além da falta de informações a respeito de como estão os solos. Portanto, existe um modelo universal muito utilizado no levantamento de perda de solo e potencial para erosão, chamado de Equação Universal de Perda de Solo – USLE.

Esse modelo quando associado e trabalhado junto com os dados gerados através de Sistemas de Informações Geográficos (SIG) visam promover ricas informações a respeito da perda de solo por erosão, contribuindo para pensamentos e atitudes de prevenção do recurso solo. Com isto, o levantamento do potencial de erosão com a finalidade de determinar valores referenciais de perda de solo por erosão no sul do Amazonas com o uso do modelo da Equação Universal da Perda de Solo - USLE poderá auxiliar no planejamento de medidas preventivas de proteção do solo e dos recursos naturais, evitando prejuízos ao ambiente e às atividades humanas.

2. JUSTIFICATIVA

O avanço do arco do desmatamento e a expansão da fronteira agrícola causam inúmeros impactos negativos ao meio ambiente, dentre eles o esgotamento do solo. Logo, a perda e a degradação do solo devido aos processos erosivos provenientes do uso intensivo e manejo irracional, seguido do abandono de áreas utilizadas na agricultura e pecuária são práticas observadas constantemente na região sul do Amazonas.

Toda essa problemática acarreta muitos prejuízos para o meio ambiente, causando sérios danos e desequilíbrios ambientais.

Neste contexto, o modelo de desenvolvimento agropecuário necessita ser repensando de forma mais ampla, com uma visão a médio e longo prazo levando em consideração o desenvolvimento sustentável na ótica de produção e conservação dos recursos naturais. Para tanto, havendo poucas pesquisas, informações e preocupações por parte política a respeito do potencial de perda e degradação do solo, a presente pesquisa torna-se relevante e necessária por contribuir no levantamento das estimativas das taxas de perdas de solo por erosão, fazendo o uso de ferramentas importantes como a Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation – USLE), caracterizada como um dos modelos mais utilizados no estudo sobre erosão do solo, como também o uso de ferramentas SIG, que ajuda na mitigação de futuros impactos e preservação do recurso solo.

3. OBJETIVOS

3.1. GERAL

Estabelecer o zoneamento do potencial de perda de solo e de parâmetros de erodibilidade em ambientes naturais e antropizados no Sul do Amazonas.

3.2. ESPECÍFICOS

a) Avaliar o uso do Equação Universal de Perda de Solo (USLE) espacializada como indicador de perda de solo e de suscetibilidade de áreas à erosão potencial no sul do Amazonas;

b) Verificar quão sensível é a resposta do modelo ao cálculo da erodibilidade do solo e à incerteza nos valores dos parâmetros do modelo em diferentes cenários de uso da terra;

c) Quantificar e espacializar as áreas em conformidade com limites de perda de solo potencial.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. O SOLO: IMPORTÂNCIA DA FERTILIDADE E MANEJO

Dentre os fatores que levaram à consolidação do Brasil como grande player na produção agropecuária mundial nos últimos anos, destacam-se os investimentos em pesquisa e a crescente adoção, pelos produtores rurais, das tecnologias geradas. Houve grandes avanços no manejo dos solos a partir do conhecimento gerado por instituições de pesquisa e universidades, em interação com entidades de assistência técnica, extensão rural, iniciativa privada e produtores, em diferentes regiões do território nacional. Paralelamente, a evolução em outras especialidades, como irrigação, vem permitindo o desenvolvimento e a exploração, em larga escala, de sistemas de cultivo que potencializam a capacidade do solo de sustentar produtividades cada vez mais elevadas (RESENDE et al., 2016).

Os estudos relacionados ao manejo e conservação do solo têm se intensificando nos últimos anos, uma vez que os impactos sobre o ambiente de cultivo, em especial as perdas de solo, tem feito parte do cenário agrícola do país. Esta pressão antrópica se deve ao uso inadequado da terra que, por consequência, tem salientado problemas como a erosão e a compactação do solo (MICHELOTTO, 2018).

O adequado manejo físico do solo garante que durante a semeadura exista uma deposição uniforme na profundidade das sementes, germinação, emergência, estabelecimento populacional e desenvolvimento da cultura. Entretanto, a adoção de sucessivos implementos que irão pulverizar o solo como grades e arados expõe a questão da não conservação e degradação excessiva, resultando em diminuição na taxa de infiltração, erosões e formação de camadas compactadas (ROSABONI et al., 2019).

As formas de manejo que preconizam a conservação do solo sempre foram utilizadas na agricultura, sendo alterativas viáveis e sustentáveis para sua manutenção e conservação, dentre estes destaca-se a adubação verde, como forma de contribuir com o aumento da matéria orgânica no solo, que está associada diretamente com a melhoria das qualidades físicas e biológicas com o aumento de microrganismos no solo, além de apresentar quantidades consideráveis de macro e micro nutrientes em sua biomassa, dentre estes destaca-se o Nitrogênio. Outro

manejo empregado na recuperação da fertilidade do solo é pela técnica do uso da rochagem. Esta permite acrescentar quantidades de rochas trituradas sobre o solo, estas rochas apresentam naturalmente uma quantidade de minerais, principalmente, P, K, Ca e Mg, que consequentemente aumentam a fertilidade do solo através da liberação desses nutrientes, além de melhorar sua estrutura (CAVALCANTE et al., 2012; BATISTA et al., 2013).

A agricultura mundial tem o desafio de garantir a segurança alimentar fornecendo alimentos, fibras e energia limpa de forma sustentável. O cenário global previsto é crítico: população mundial atingindo nove bilhões de habitantes em 2050; crescente escassez dos recursos terra e água; mudanças climáticas e eventos extremos; níveis de renda per capita e urbanização ascendentes; novos consumidores digitalizados demandando alimentos mais nutritivos e funcionais; e ganhos de produtividade em ritmo decrescente em alguns países. Projeções baseadas em padrões de crescimento populacional e consumo de alimentos indicam que a produção agrícola precisará aumentar em pelo menos 70% para atender às demandas até 2050. (FAO, 2010).

Diante disso, a partir da Revolução Verde elevou-se a produção agrícola no mundo, uma vez que fez-se uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes, aliado ao desenvolvimento genético de sementes. Entretanto, o uso indiscriminado de agroquímicos acarretou diversos problemas ambientais (multiplicação de pragas, esterilização dos solos, assoreamento de rios e reservatórios, poluição de águas, devastação das florestas, redução da biodiversidade, contaminação dos alimentos e o envenenamento de trabalhadores rurais) e se tornou um fator gerador do aumento dos custos de produção. (SILVA et al., 2009)

A agricultura sustentável é o manejo e a conservação da base de recursos naturais e a orientação tecnológica e institucional, de maneira a assegurar a obtenção e a satisfação continua das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras. Tal desenvolvimento sustentável (agricultura, exploração florestal e pesca) resulta na conservação do solo, da água e dos recursos genéticos animais e vegetais, além de não degradar o ambiente, ser tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável (ZIMDALH, 2012).

A literatura oferece dezenas de definições para a agricultura sustentável, e entre essas, as mais aceitas e usuais são aquelas publicadas por organizações

internacionais influentes, como a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos e o Departamento de Agricultura. Quase todas seguem os mesmos padrões em relação a sustentabilidade, que são: manutenção ao longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola; mínimo de impactos adversos ao ambiente; retornos adequados aos produtores; otimização da produção das culturas com o mínimo de insumos químicos, atendimento das necessidades sociais e das famílias e das comunidades rurais etc. (SOUZA, 2020).

A discussão sobre agricultura sustentável tem gerado ideias, muitas já colocadas em prática, que buscam a manutenção da produtividade agrícola e até mesmo incrementos, com a preservação dos recursos naturais, a garantia das condições sociais aos agricultores, suas famílias e empregados rurais, além da sustentabilidade financeiras dos empreendimentos agrícolas. Técnicas como a semeadura e o plantio direto dos cultivos sobre a palha têm evitado as perdas de solo por erosão e incrementado o sequestro de carbono no solo (RUEDEL, 2017).

Dentre as práticas agronômicas sustentáveis, as mais comuns são a rotação de culturas, os sistemas agroflorestais, a paisagem heterogênea, o consórcio de culturas e a associação de plantas, práticas essas que favorecem a relação de ME no solo ao aumentar a quantidade de matéria orgânica assim mantendo a “saúde do solo”, essencial para uma produção de qualidade. O uso de sistemas de cultivos com espécies diversificadas se mostra cada vez mais útil em diversas regiões, sendo uma prática considerada sustentável, pois em ambientes heterogêneos onde a complexidade genética é maior, a distribuição de pragas e doenças muda, permitindo às culturas um maior rendimento, e isso também pode ser associado à melhorias da qualidade do solo (SANTOS, 2012).

4.2. EROSÃO DO SOLO

A erosão é um processo que ocorre naturalmente no meio e é responsável pela evolução geomorfológica do terreno bem como pela renovação do solo, ao remover o solo mais antigo e expor um solo mais novo. No entanto, sob efeitos antrópicos, é uma das principais causas de degradação dos solos (DECHEN et al., 2015). A erosão do solo é um processo (ou grupo de processos) que remove as camadas superficiais de

solo e transporta-as através dos agentes erosivos, tais como rios, mares, vento e chuva, principalmente a chuva e o vento nas regiões tropicais. A erosão ocorre em duas fases: remoção de partículas e transporte, efetuado pelos agentes erosivos (OLIVEIRA; SANTOS; ARAÚJO, 2018).

A erosão do solo ocorre, sobretudo, devido à interação de fatores controladores, sendo eles a erosividade da chuva, erodibilidade do solo, características da encosta e cobertura vegetal. Porém, as atividades humanas desenvolvidas de forma inadequada têm acelerado a ocorrência no tempo-espaço de processos erosivos ligados ao escoamento superficial e subsuperficial, resultando na degradação dos solos e de suas múltiplas funções (OSMAN, 2014).

LLOOPIS (1999), relata que a erosão provem do verbo latino erodere que significa roer. É um fenômeno geológico natural gerador de sedimentos, que sempre existiu na superfície terrestre, começando quando as rochas entram em contato com a atmosfera. De acordo com os autores WISCHMEIER E SMITH (1965), a erodibilidade é uma propriedade do próprio solo, sendo uma combinação particular de propriedades intrínsecas deste, que influencia na infiltração e permeabilidade. Os mesmos autores dizem também que a erodibilidade representa a suscetibilidade do solo ao processo erosivo e pode ser determinada de forma direta, pela razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas, e também por meio de análise de regressão linear simples entre essas duas variáveis (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Existem diversas formas de erosão, mas a provocada pelo escoamento superficial e subsuperficial, nas encostas, é a que possui maior distribuição geográfica em diversos países (GUERRA & JORGE, 2014, p12). Portanto, a água é um dos principais agentes que impactam no processo de erosividade do solo, a intensidade e impactos das gotas das chuvas causam a desagregação do solo, além disso ocorre um escoamento superficial, acarretando no que é chamado de erosão hídrica. Mesmo tendo a água como um dos principais agentes, há uma série de fatores que podem impactar ainda mais esse processo de erodibilidade do solo, dentre eles estão os fatores climáticos que variam de região para região, as diferentes topografias dos diferentes tipos de solo, se o solo se encontra ou não com cobertura vegetal, e os diferentes tipos de solo.

Esses fatores citados anteriormente influenciam diretamente no grau da intensidade do fenômeno erosão, suponhamos que naturalmente um determinado solo não possui qualidades físicas e químicas adequadas, logo temos um solo com uma má estruturação e que não promove nutrientes para a manutenção da cobertura vegetal. Sendo assim, quando a chuva incide no mesmo, dependendo da intensidade e frequência acontecerá o processo de erosão hídrica, e caso não seja realizado alguma prática de prevenção para proteger o solo, isso levará ao surgimento do pior estado de erosão que é a voçoroca, que são verdadeiros rasgos na terra.

As vezes o solo até possui boas propriedades físicas e químicas, mas devido ao fato de estar exposto sem cobertura vegetal em determinada época do ano, pode acontecer o mesmo. Segundo (MORGAN 2005), a retirada da cobertura vegetal com posterior instalação de lavouras e pecuária leva a transformação biofísica dos solos tendo como impactos a redução de matéria orgânica, compactação do solo, redução da infiltração, aumento do escoamento superficial e a erosão do solo.

Para isso, estudos de estimativas de erodibilidade do solo tornam-se essenciais para a preservação, pois, permite verificar áreas que são mais suscetíveis aos processos degradacionais e como as formas de uso e cobertura podem influenciar no estado ambiental da área, agindo como importantes ferramentas de contribuição para a conservação do solo e para a sobrevivência humana na Terra.

Entre os modelos de estimativa de erosão existentes, a chamada Equação Universal de Perda de Solo (USLE) é um dos modelos de predição mais conhecido e utilizado. Esta equação estima erosão laminar e erosão em sulcos usando valores que representam os cinco fatores que mais influem no processo erosivo: erosividade, erodibilidade, topografia, uso e manejo do solo, e práticas conservacionistas (CABRAL et al., 2010).

E também, uma vez que essas informações são escassas em nosso país e região, essa análise permite uma tomada de decisão mais condizente com a realidade (SANTIAGO, 2016).

4.3. CAUSAS DA PERDA E DEGRADAÇÃO DO SOLO

A natureza é a principal base para a sobrevivência da vida humana na terra, nos proporcionando os recursos essenciais como alimentos (caça, pesca, produção animal, produção vegetal, colheitas extrativistas), água, madeira e etc. Entretanto o aumento da população mundial faz com que haja uma certa perturbação na natureza acarretando impactos para o meio ambiente, essa perturbação muita das vezes é chamada de esgotamento dos recursos naturais, pois há uma predação intensa de forma irracional visando apenas usufruir, sem ter a mínima noção do que pode acontecer futuramente.

As atividades agropecuárias podem causar diversos impactos desfavorável ao meio ambiente. O desmatamento para atividades agropecuárias é um dos principais causadores de impactos negativos a natureza. Além disso, a utilização de insumos agrícolas como adubos químicos, corretores do solo e pesticidas pode poluir os solos e a água. O solo é um recurso natural finito e muito importante para a vida na Terra. Infelizmente, a degradação do solo vem sendo um problema crescente. A erosão do solo é um dos principais fatores que lesa a qualidade do solo e reduzem sua capacidade de armazenar água e nutrientes. Desta forma, podemos dizer que se não tiver solo, pouca coisa sobra de fauna e flora. Isso é confirmado por RODRIGUES (2019) que aponta que o desmatamento de áreas extensas de terra para a implantação de meios de produção como o cultivo de monoculturas contribui para alterações climáticas e o desequilíbrio ecológico que por sua vez pode levar as diversas espécies animais à migrarem para outros locais devido à destruição total da biodiversidade de fauna e flora local.

Ocorre que na maioria das vezes estes solos quando usados para as atividades agrícolas não são manejados de forma apropriada, acarretando no seu esgotamento físico, químico e biológico, até o mesmo ficar sem potencial de uso e logo em seguida tendo como consequência o abandono. É neste contexto que a perda de solo e a degradação tem importância em relação aos impactos ao meio ambiente.

Para Silva (2020) grande parte dos solos mundiais estão degradados. Das terras agricultáveis do planeta 1/3 estão degradadas. Esse fato compromete a sustentabilidade agrícola, pois, em geral, as práticas de manejo convencionais

adotadas na produção não contemplam aspectos conservacionistas. Após exaurir as áreas de solos férteis, são buscadas novas áreas, abandonando as anteriores sem qualquer recuperação do solo. Todavia, os avanços das técnicas de melhoramento genético das sementes, o desenvolvimento da agricultura de precisão e dos procedimentos irrigação e de fertilização por gotejamento dos solos promoveram aumento da produtividade agrícola (FAO, 2019).

Segundo a ONU (2019), estima-se que em todo mundo a cada 5 segundos é perdida uma quantidade de solo equivalente a um campo de futebol e, caso a exploração deste continue no ritmo atual, até 2050 mais de 90% dos solos de todo o planeta Terra se tornarão degradados. Atualmente, estima-se que 33% dos solos de todo o planeta Terra encontram-se em níveis de degradação que variam de moderado a fortemente degradados, e isso é por causa das práticas agrícolas inadequadas. Ações do vento e da chuva e a agricultura industrial aceleram a erosão do solo causando prejuízos ambientais e socioeconômicos.

Pimenta (2020) também enfatiza que o principal problema ambiental é o desmatamento (67%), o que tem contribuído para a ocorrência de fatores como o esgotamento nutricional a lixiviação, voçorocas, a salinização, a compactação, redução da atividade microbiana e o aumento da acidez do solo que leva ao desequilíbrio do potencial de hidrogênio.

Além disso, a aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados pode resultar em lixiviação, ou seja, a perda de nutrientes para os cursos d'água, causando poluição e impactos negativos nos ecossistemas aquáticos (FREITAS et al., 2012). A salinização é outro problema associado ao manejo inadequado do solo, ocorrendo quando há acúmulo de sais nas camadas superficiais do solo, tornando-o inadequado para a agricultura (DIAS et al., 2005). Também é verdade dizer que provavelmente esse solo não possuirá uma cobertura vegetal que o protegerá dos impactos das gotas da chuva, tornando-o exposto e susceptível a erodibilidade e erosividade. Segundo ARAÚJO et al., (2007), atividades onde ocorrem a remoção da cobertura vegetal associadas a outras atividades, potencializam a degradação do solo.

Para tanto, é de extrema importância a criação de políticas públicas que visem a mitigação desses impactos ao solo e meio ambiente, pois o ser humano jamais irá

deixar de usufruir dos recursos da natureza, mas deve haver uma harmonia entre o homem e natureza. Isso é ressaltado por Coutinho (2017) que afirma que é preciso encontrar um ponto de equilíbrio entre a geração de renda e utilização responsável do solo, o que em países com mega diversidade biológica como o Brasil, constituindo-se de um grande desafio que requer a atenção dos poderes nacionais, de investimentos em ciência e no desenvolvimento de técnicas que possibilitem tanto aos pequenos, como para os grandes produtos a utilização adequada e sustentável das terras agriculturáveis disponíveis.

4.4. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (USLE)

De acordo com Cantalice et al. (2009), o estudo do potencial erosivo do solo possibilita dimensionar melhor as estruturas de conservação do solo e da água e gerenciar a predição de impactos ambientais. Existem vários métodos que possibilitam o estudo este fenômeno. Métodos diretos de coleta e avaliação do material erodido em campo ou laboratório, ou métodos indiretos, em sua maioria as modelagens matemáticas.

Segundo Back (2023), além do alto custo e de serem bastante trabalhosas, as técnicas de medição da erosão são difíceis de aplicar. Dessa forma, foram desenvolvidos vários modelos matemáticos para obter estimativas de perdas de solo por erosão e também possibilitar a avaliação de práticas de manejo e conservação do solo. Alguns modelos mais complexos são difíceis de aplicar devido à alta heterogeneidade dos fatores causadores de erosão do solo, e principalmente à carência de dados necessários para alimentar estes modelos. Dentre os modelos menos complexos para cálculo de perdas de solo por erosão, destaca-se a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) – Universal Soil Loss Equation (USLE).

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) permite estimar as perdas de solo por erosão como o resultado da interação entre fatores do potencial erosivo da chuva, da suscetibilidade do solo à erosão, da topografia do terreno (comprimento e declividade de rampa) com fatores de manejo de solo e culturas e práticas conservacionistas complementares (LAL, 2000).

A USLE é um importante modelo universal que faz o uso de dados de algumas variáveis como precipitação, informações e características do solo e da área, além da atividade que é realizada em cima deste solo servindo como um instrumento na determinação de estimativa de perda de solos, tornando-se relevante para a mitigação de futuros impactos ambientais decorrentes naturais e antrópica. Isso é corroborado por PRADO E NÓBREGA (2005), que diz que a USLE é uma ferramenta de previsão da estimativa de perda de solo, que fornece dados para tomadas de decisões para um planejamento ambiental e práticas de manejo do solo.

Importante ferramenta, a equação USLE é considerada um sucesso devido ao uso de informações de SIGs que são os sistemas de informações geográficas, considerados os combustíveis que geram importantes dados para alimentação e utilização da USLE. Mostrando-se eficientes na integração de diferentes dados temáticos e na geração de novos produtos cartográficos, especialmente em estudos sobre perda de solo (PINTO; GARCIA, 2005). Autores como (WILLIAMS, 1975), (KINNELL, 1999), (FLACKE ET AL., 1990) são responsáveis por desenvolverem estudos para um melhor uso da USLE.

Desta forma, a EUPS é o método mais amplamente utilizado em todo o mundo para prever taxas de longo prazo de erosão em áreas agrícolas sujeitas a diferentes práticas de manejo. Este modelo pode ser utilizado para prever as perdas de solo por erosão, selecionar práticas de conservação de forma a minimizar as perdas, determinar os declives máximos para cultivo, de acordo com os tipos de solo e manejos e para estudos de pesquisa (CARVALHO, 2012).

Para tanto, mesmo sendo um modelo de uso universal, é necessário estudos e pesquisas para a adaptação do modelo USLE na área ou região determinada para a estimativa dos parâmetros de perda de solo, já que uma vez a equação USLE não considera por exemplo o processo de deposição de sedimentos e também não promove a estimativa da erosão em sulcos em estado mais avançado. Isso é reforçado por FERNANDES (1997) e; LOCH E ROSEWELL (1992) que relatam que para o uso da equação USLE diferente do seu local de desenvolvimento, é preciso ser feito experimentos de pesquisa para aplicação de seus componentes condizentes com os aspectos do local escolhido.

De acordo com WISCHMEIER E SMITH (1978) para a estimativa de perda de solo, o modelo universal USLE é constituído da seguinte equação: A = R. K. LS. C. P, onde que de forma geral A é referente a perda de solo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$); mas para isso precisa de seus constituintes como R que é referente ao fator de erosividade da chuva ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$) que representa um índice numérico que denota a capacidade da chuva em causar erosão em um determinado local; o K é fator de erodibilidade do solo ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$) referente a suscetibilidade do solo a erosão; já o LS é tido como o fator topográfico onde que o L é o fator de comprimento do declive e o S é o fator de grau deste declive; o C é definido como o fator de de uso e manejo do solo e o P refere-se as práticas conservacionistas.

Esse modelo preditivo é amplamente utilizado em estudos aplicados a bacias hidrográficas ou a glebas experimentais e quando aplicados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem se mostrado eficiente na interpolação de diferentes dados temáticos e na geração de novos produtos cartográficos, especialmente em estudos sobre perda de solo (PINTO; GARCIA, 2005).

4.5. EROSÃO E DEGRADAÇÃO DE SOLOS NO SUL DO AMAZONAS

A região sul do estado do Amazonas, ou Médio Madeira, ocupa 12% da área total do estado do Amazonas, aproximadamente 177.526,80 km2, abrangendo os municípios de Humaitá, Manicoré, Apuí e Novo Aripuanã (CAMPOS, 2009). De acordo com CENAMO et al (2011) a região é composta por importantes rodovias federais e estaduais como a BR-230 e BR-319 que constituem principal forma de locomoção.

Esse fator faz com que haja uma certa facilidade para a migração de pessoas de outras regiões do Brasil na busca de um pedaço de terra para produzir e aumentar a sobrecarga nas florestas amazônica, aumentando os índices de avanço da chamada fronteira agrícola.

O aumento dessas migrações facilitadas pelas rodovias, são potencializados ao preço baixo das terras (comparados ao preço de terras no sul e sudeste) juntamente com a baixa fiscalização de órgãos competentes o que leva a geração constante de impactos ao meio ambiente. A atividade de pecuária é a mais frequente

observada nessa região, formando verdadeiros polos de produção bovina, onde que na maioria das vezes por ocupação e aquisição ilegal de terras.

Acontece que muita das vezes os solos destas regiões são utilizados de forma inadequada, havendo uma alta intensidade no seu uso, levando ao dito esgotamento, logo acarretando em sua degradação principalmente pela erosão. É necessário compreender que preocupação da sociedade não está voltada para a proibição das atividades agropecuárias, mas sim de como usar estes recursos de formas racionais. De acordo com LOMBARDI NETO E BERTONI (1975) determinar os limites de tolerância a perdas de solo, não restringem o uso e manejo do solo, apenas controlam a escolha das técnicas a serem adotadas, sem considerar os fatores econômicos.

Apesar de não haver um banco de dados relevantes em relação a estudos de levantamento de perda de solo por erosão nessa região, mesmo que na maioria das vezes de forma empírica sejam observados estes processos erosivos, há sempre uma preocupação e intensificação de pesquisas voltadas para o preenchimento desta lacuna, visando fornecer informações para o uso mais racional e tomada de decisões que causem menos impactos a estes recursos naturais.

Estudos como o de NUNES (2009) resultantes de uma compilação de informações de 37 perfis de solo representativos da região sul do Amazonas descritos por CAMPOS (2009), SANTOS (2011) e por CARVALHO (1986). Tiveram como resultados que a tolerância de perdas de solo obtida foi de 8,89 a 15,19 t ha-1 ano-1 (Método I); 7,29 a 13, 21 t ha-1 ano-1 (Método II) e 8,61 a 14,14 t ha-1 ano-1 (Método III). E que os Argissolos foram os solos menos tolerantes a perdas de solo e os mais tolerantes foram os Cambissolos, Gleissolos e Latossolos. O Método II foi mais rigoroso na obtenção dos valores de limites de tolerância a perdas de solo.

A perda de solo através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos – USLE para ordens de solos representativas da região Sul do estado do Amazonas a partir da estimativa da tolerância a perdas de solo, com o intuito de propor e estimular o uso de uma ferramenta que ajude predizer a delinear alternativas compatíveis com os limites de tolerância intrínseca de cada classe de solo. Neste presente estudo foi concluído que a interferência antrópica pode condicionar os

resultados obtidos pela aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (NUNES et al., 2017).

Também foi concluído que o mesmo solo apresenta perdas maiores ou menores em função da escolha do manejo e da pratica conservacionista. Do mesmo modo que o mesmo manejo e prática não resultam em perdas iguais se os solos forem diferentes. Concluído também que as perdas potenciais de solo foram maiores quando se considera o solo desnudo: 149,72 (Argissolo) a 25,41 t ha-1 ano-1 (Gleissolo), enquanto que, a pastagem combinada à semeadura em contorno promove perdas de solo significativamente menores: 0,96 (Argissolos) a 0,16 t ha-1 ano-1 (Gleissolos).

O uso de valores de tolerância em modelos de predição de perdas de solo permite buscar a combinação de fatores C e P que promovam uma perda de solos menor que o limite tolerável. Tal procedimento garante a sustentabilidade do sistema com potencial para a degradação. Com estes trabalhos, observam-se a importância destes levantamentos para uma melhor utilização e manejos mais sustentáveis nos solos da região amazônica.

5. METODOLOGIA

5.1. CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DAS ÁREAS PARA O ESTUDO

O estudo compreendeu uma faixa de área localizada ao sul do Amazonas, aproximadamente 2500 km². Nesta faixa encontram-se áreas com estudos de levantamento realizados desde o ano de 2007. Estas áreas compreendem diferentes mosaicos de vegetação, solo e relevo. Entre as classes de solos destaca-se Latossolos Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo, relevos planos a fortemente montanhosos, e uma área de drenagem composta pelos Rios (Madeira, Roosevelt, Marmelo e Purus) que engloba seis municípios, que são: Lábrea, Canutama, Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã e Apuí.

O município de Humaitá localiza-se ao sul do Estado do Amazonas à margem esquerda do rio Madeira, afluente da margem direita do Rio Amazonas, a cerca de 200 km de Porto Velho e 675 km de Manaus pela Rodovia BR319 e está situado na zona fisiográfica do Rio Madeira. Limita-se com os municípios de Manicoré ao norte e ao leste, Tapauá e Canutama a oeste e Estado de Rondônia ao sul. A sede do centro 70°30’22"S. e 63°01°15"W.Gr. O clima da região é do tipo Am, segundo Köppen, isto porque a precipitação anual varia de 2250 a 2750 mm, com estação seca de pequena duração (mês de julho). A temperatura média anual varia de 24°C a 26ºC, a umidade relativa do ar, bastante elevada, varia de 85 a 90% e a altitude média é de 90 metros acima do nível do mar (CARVALHO, 1986; EMBRAPA, 1997a).

Já o Distrito de Santo Antônio do Matupi, no município de Manicoré localiza-se na porção sudeste do Estado do Amazonas, médio rio Madeira e geograficamente na mesorregião 04, microrregião 013, distando de Manaus 333 km em linha reta, 421 km por via fluvial e 427 km por via terrestre, seguindo a BR 319 (ICOTI, 1995). De acordo com a classificação climática de Köppen, a área possui um clima tropical chuvoso, caracterizando-se por elevada temperatura média anual, variando de 27 a 25 °C, com máxima e mínima mensal de 36 e 17 °C respectivamente. A média de umidade relativa do ar varia entre 85 e 90%, podendo alcançar níveis abaixo dos 50% nos períodos de seca, enquanto que a precipitação média anual da região é de 2500 mm, aproximadamente (ALVAREZ et al., 2013; VIDOTTO et al., 2007).

Na região de Manicoré-AM, a vegetação é composta majoritariamente por Floresta Ombrófila Densa, que equivalem a aproximadamente 65,4% da vegetação natural existente (SILVA; PEREIRA, 2005). Já no aspecto pedológico a região de Manicoré, AM apresenta solos desenvolvidos a partir de granitos Rondonianos oriundos do Pré-Cambriano Superior (Brasil 1978). Portanto, os solos mais comuns na região amazônica pertencem à classe Latossolos e Argissolos, que se distinguem pelo alto grau de intemperismo e baixa fertilidade natural (FONSECA et al., 2019).

O município de Apuí ocupa uma área de 54.240 km^2 ao sudeste do estado do Amazonas fazendo limites com os Estado do Mato Grosso e Pará, e os municípios de Novo Aripuanã, Borba e Maués, AM (BRASIL, 1978). O município de Apuí, AM apresenta clima tropical com expressiva variabilidade, principalmente no tocante à distribuição espacial e temporal de chuvas, cuja zona climática, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), caracterizada pelo tipo Am (chuvas do tipo monção), com período seco de pequena duração e pluviosidade limitada pelas isoietas de 2.200 e 2.800 mm. Apresenta temperaturas médias anuais variando entre 25º e 27º C e umidade relativa do ar variando entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

A grande quantidade de chuvas corrobora para o perfeito desenvolvimento da vegetação, que é constituída por floresta tropical, composta em boa parte por árvores de grande porte e próximas umas das outras. De acordo com Veloso et al. (1991) essa vegetação característica da região compreende as seguintes tipologias: Floresta Tropical Densa Aluvial, Floresta Tropical Densa de Terras Baixas, Floresta Tropical Densa Submontana. De acordo com o IBGE (2000) e no aspecto pedológico, são encontrados principalmente: Latossolos: que são solos minerais profundos e muito intemperizados; e os Argissolos: que tem profundidade variável, sua drenagem pode variar de muito boa a imperfeitamente drenado.

5.2. ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

Foram realizados dois tipos de análises físicas sendo a análise textural do solo e a análise de estabilidade de agregados do solo.

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila será separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte será calculado por diferença.

A estabilidade de agregados foi expressa pelo seu diâmetro médio geométrico (DMG foi avaliada por peneiramento via úmida, em dispositivo oscilatório vertical dentro de recipientes com água, conforme KEMPER & CHEPIL (1965) e YODER (1936).

5.3. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

O carbono total foi quantificado pelo método de WALKLEY-BLACK modificado por YOEMANS E BREMNER (1988) e a matéria orgânica, por sua vez, será estimada com base no carbono orgânico.

5.4. OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

O modelo de cálculo da perda de erosão potencial utilizado baseou-se na Equação Universal de Perda de Solo (USLE) de WISCHMEIER E SMITH (1978), com o auxílio do banco de dados gerados através do uso Sistema de Informação Geográfica (SIGs), o software ArcGis 10.2.1, para a espacialização dos fatores (R – Erosividade da chuva, K – Erodibilidade do solo, LS – Topografia, C –Uso do Solo e P – Práticas Conservacionistas).

5.5. CÁLCULO DA EROSIVIDADE (R)

Para o cálculo da erosividade do solo os dados foram obtidos em banco de dados da agência nacional de águas (ANA, 2001), obtidos de estações climáticas próximas à região do estudo, com dados contínuos de pluviosidade total anual, mensal

total e números de dias de chuva. Ainda, os dados foram ajustados conforme equações disponibilizadas para o norte do país e então interpolados e classificados.

5.6. CÁLCULO DA ERODIBILIDADE (K)

Para obtenção do valor de K, seguiu-se a classificação brasileira de solos e a obtenção de dados a campo para fidelizar um modelo característico da região. Foram realizadas coletas de solo a campo, nas diferentes fisiografias e usos e ocupação dos solos em quantidade representativa nas áreas, e levadas a laboratório para testar estrutura (estabilidade de agregados), armazenamento de carbono (estoque de carbono). Os dados foram submetidos a análise estatística, classificados e espacializados para compor o modelo.

5.7. FATOR TOPOGRÁFICO (LS)

Segundo Valle et al. (2016), informações de produtos confeccionados de ferramentas das geotecnologias acerca de componentes características da paisagem como declividade, pedologia, precipitação, uso e ocupação da terra são essenciais na gestão ambiental. No que diz respeito à erosão, associado às formas de uso da terra, um componente que interfere diretamente no maior ou menor efeito é a declividade, em função da influência da inclinação do terreno em relação a superfície, atuando diretamente na eficiência do escoamento superficial da água (HÖFIG; ARAÚJO-JUNIOR, 2015).

A importância de estudar a declividade é pelo fato de relacionar-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias, sendo que os picos de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia (VILLELA & MATTOS, 1975).O fator topográfico contou com um modelo digital de elevação que obtido de base de dados adaptada por WEBER et al., (2004) e que serviu de base para o procedimento metodológico de MOORE & BURCH (1986) e DESMET & GOVERS (1996).

5.8. USO DO SOLO (C) E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P)

Valores de uso do solo e práticas conservacionistas foram coletados a campo e utilizados de acordo com histórico da área. Os dados seguiram metodologia já estabelecida para compor o raster destes fatores no modelo. Para obtenção das perdas de solo potenciais ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$), foram multiplicados os fatores, respeitando a situação de uso atual do solo, bem como cenários elaborados, com combinações de diferentes equações para cálculo do Fator K e Fator C. Após, em função dos resultados, as áreas foram classificadas por faixas de erosão de acordo com metodologia de RIBEIRO (2006) e analisadas por estatística multivariada.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este estudo foram analisadas 04 áreas distintas, sendo área de campos naturais e de floresta, município de Humaitá-AM; área de pastagem no Distrito de Santo Antônio do Matupi, no município de Manicoré-AM e; áreas de plantio de cacau, café e pastagem no município de Apuí-AM.

Segundo a Tabela 01, entre as áreas de estudo, houveram maiores ocorrências de declividades onduladas e fortemente onduladas, declividades suavemente onduladas e montanhosas registraram ocorrências menos significativas e a menor ocorrência registrada foram de áreas planas.

Mapa de Declividade

Categoria	Área (Km^2)
Plano	0.11953
Suavemente ondulado	13.07818
Montanhoso	82.27914
Fortemente ondulado	907.20896
Ondulado	5563.95139
TOTAL	**6566.63720**

Tabela 01. Mapa de Declividade (Km^2).

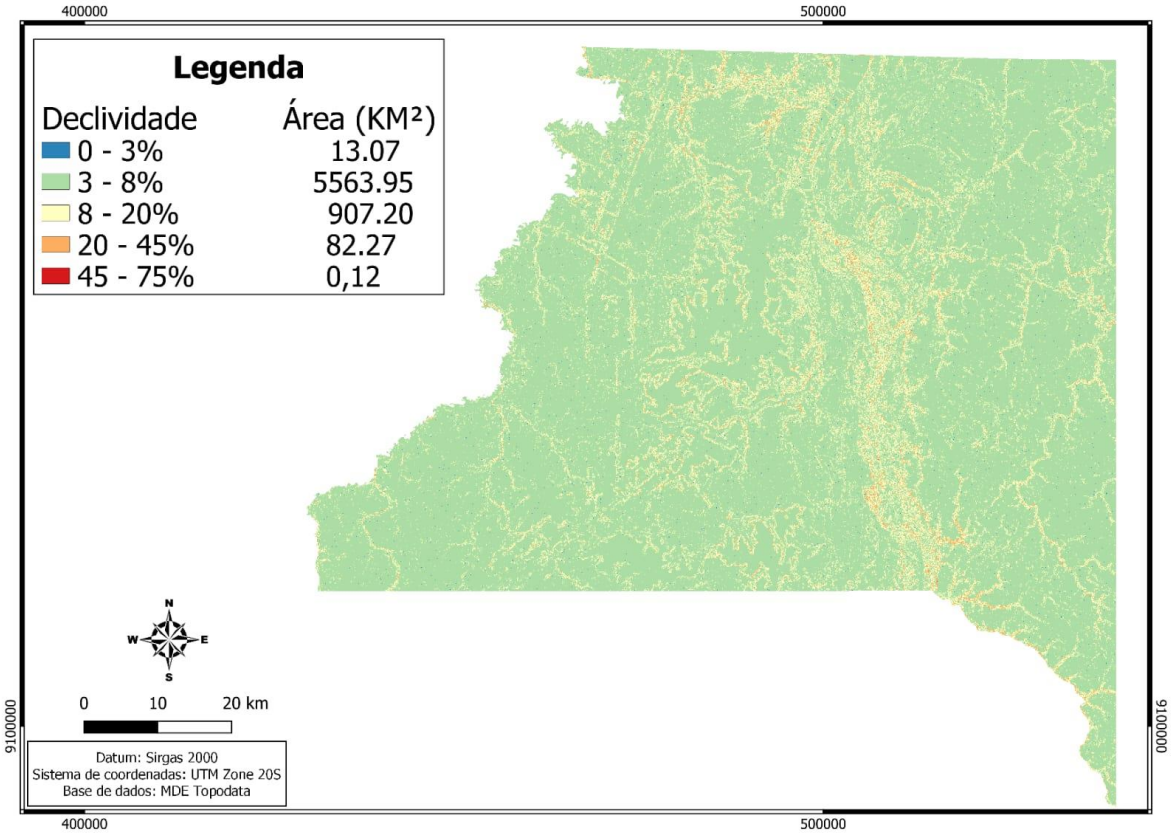

Figura 01. Mapa de Declividade da área de estudo no município de Humaitá (%)

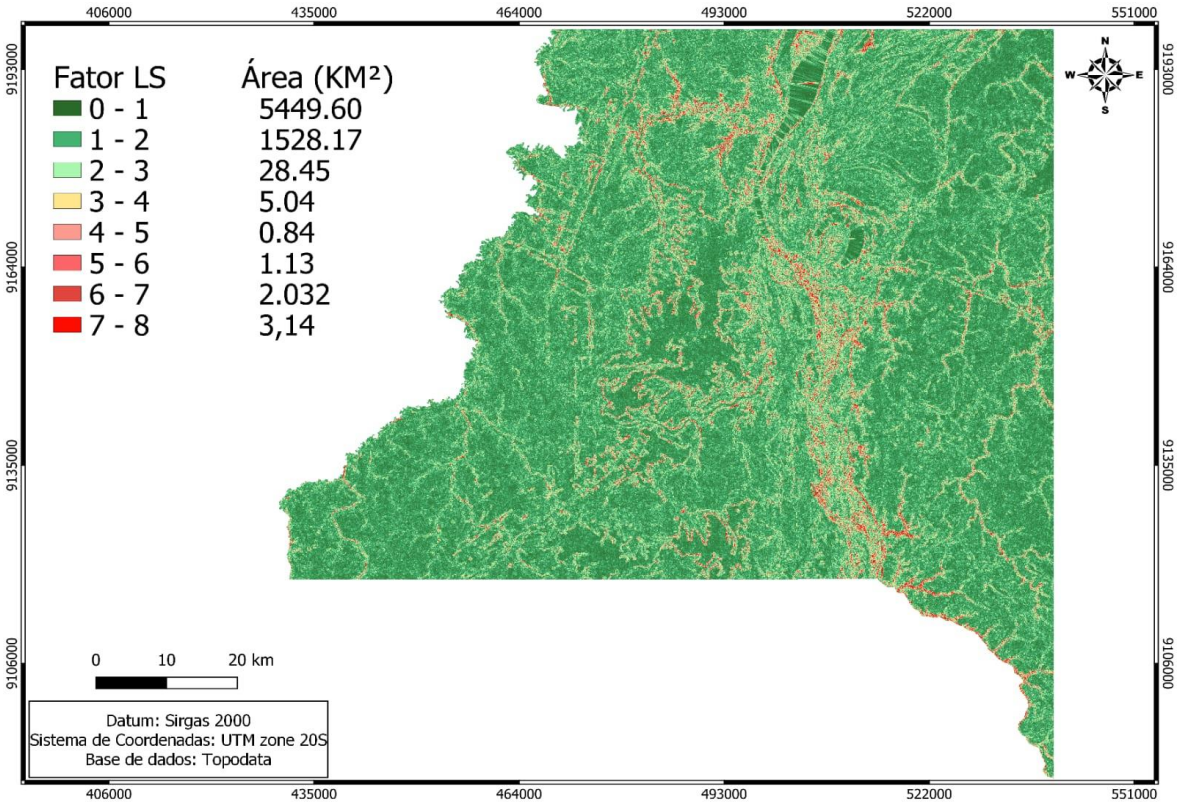

Figura 02. Fator LS da área de estudo no município de Humaitá (%)

Ainda sobre a declividade, no que tange às áreas de estudo no município de Humaitá, verificou-se uma maior incidência de áreas suavemente onduladas com um total de 5.563,95 Km^2, seguida de uma área de aproximadamente 907,20 Km^2 apresentando uma declividade considerada ondulada. Quanto às demais declividades – fortemente onduladas, planas e montanhosas, apresentaram-se áreas de menores incidências, respectivamente (Figuras 01 e 02).

Com base nas informações sobre a declividade das áreas de estudo no município de Humaitá, é possível elaborar diversas análises e estratégias. Primeiramente, a predominância de áreas suavemente onduladas pode indicar uma maior facilidade de uso dessas áreas para a agricultura, pois apresentam menor dificuldade de mecanização e menor risco de erosão.

Por outro lado, as áreas consideradas onduladas podem demandar técnicas de conservação do solo mais intensivas, devido ao maior potencial de erosão. Nesse sentido, estratégias de manejo como a implantação de sistemas agroflorestais,

terraceamento e plantio em curvas de nível podem ser recomendadas para minimizar os impactos da declividade.

Além disso, as áreas fortemente onduladas, planas e montanhosas podem apresentar desafios adicionais para a agricultura, como maior risco de erosão, limitações de mecanização e maior complexidade no manejo do solo. Nesses casos, é importante adotar práticas de conservação do solo adequadas, como o plantio direto, rotação de culturas e o uso de cobertura vegetal.

Em suma, a análise da declividade das áreas de estudo em Humaitá pode oferecer informações importantes para o planejamento e manejo agropecuário na região, possibilitando a adoção de estratégias adequadas para otimizar a produção agrícola e minimizar os impactos ambientais.

No total, as áreas suavemente onduladas e onduladas representam a maior parte do município de Humaitá, com um total de 6.471,15 Km2. Isso indica que a maior parte do relevo do município é caracterizado por pequenas elevações e declives suaves, o que pode influenciar na utilização dessas áreas para diferentes atividades, como agricultura, pecuária, turismo, entre outros. Por outro lado, as áreas fortemente onduladas, planas e montanhosas apresentam uma menor incidência no município, o que pode indicar que essas áreas são menos extensas e podem apresentar características mais específicas e distintas em relação às áreas predominantemente suavemente onduladas e onduladas. Essas áreas podem exigir um manejo mais específico e diferenciado, de acordo com suas características de declividade. Portanto, o conhecimento das diferentes declividades e características do relevo do município de Humaitá é fundamental para o planejamento e gestão do território, contribuindo para a utilização sustentável das áreas e para o desenvolvimento local. É importante considerar essas informações para a tomada de decisões relacionadas ao uso do solo, conservação ambiental e mitigação de possíveis impactos negativos no ambiente.

Quanto ao uso e ocupação do solo, de acordo com Weiler (2017), a cobertura de um solo protege-o, evitando perdas elevadas, causadas pelo processo erosivo. Giambelluca (2002) ainda enfatiza que a cobertura vegetal são tipos ou formas de vegetação de origem natural ou plantada pelo homem que recobrem um determinado espaço no qual é de extrema importância para proteção do meio ambiente. A cobertura

vegetal funciona como uma espécie de telhado diminuindo o impacto, como por exemplo causado pelas chuvas e ventos, protegendo o solo da erosão e desertificação ao proteger o solo e as raízes das árvores equilibrando a temperatura.

Desta forma, áreas que possuem uma cobertura do solo adequada apresentam menor potencial para a produção de sedimentos. Em contrapartida, áreas com coberturas do solo inadequadas apresentam elevados índices erosivos. Logo o monitoramento do uso e ocupação do solo, integrado a modelagem hidrossedimentológica, torna-se peça fundamental na análise dos processos de mudanças ambientais devido à degradação dos solos e da vegetação natural (SANTOS et al., 2012).

Segundo Leite et al. (2012), com imagens de uso e cobertura do solo é possível a visualização e identificação direta dos elementos geometricamente apresentados ali, e com a sintetização de mapas indicando a distribuição espacial da topologia e com análises de seus padrões homogêneos característicos na superfície terrestre, é possível a organização do espaço. O conhecimento e o monitoramento do uso e ocupação do solo são primordiais para a compreensão dos padrões de organização do espaço.

Desta forma, no cenário atual, quanto ao uso e ocupação do solo das áreas de estudo, no município de Apuí, conforme pode ser observado na Figura 03, existe uma predominância significativa de vegetação densa, englobando 68,7% da área de estudo, enquanto solos com vegetação rasteira e totalmente exposto apresentam uma predominância de área menor e praticamente equivalentes com 14,2% e 15,6%, respectivamente.

Em uma perspectiva a longo prazo, a predominância significativa de vegetação densa no município de Apuí indica que a região possui uma cobertura florestal importante e saudável. Isso é fundamental para a manutenção da biodiversidade, para a regulação do clima e para a proteção dos recursos hídricos. No entanto, é importante monitorar e controlar o desmatamento e a conversão de áreas de vegetação densa em outras formas de ocupação, a fim de garantir a sustentabilidade e a preservação desses ecossistemas no futuro. A manutenção da vegetação densa também é essencial para mitigar os impactos das mudanças climáticas e para garantir a

qualidade de vida das comunidades locais. Portanto, é fundamental adotar medidas de conservação e uso sustentável dos recursos naturais para garantir a saúde e a resiliência dos ecossistemas a longo prazo.

Diante do senário de uso e ocupação do solo que representa os mapas, deixar o solo descoberto, principalmente quando não se tem os devidos cuidados, ajuda no processo de erosão, que é intensificado por vento ou chuva. Com o desgaste, as partículas do solo são levadas para as fontes de água e vão sedimentando, o que faz diminuir a capacidade e a vasão dos rios, muitas vezes poluindo os rios e prejudicando vidas que reside nesse lugar. Além disso, corre o risco da perda de biodiversidade local, empoçamento, alagamento, compactção do solo, estresse hídrico, estresse témico e degradação do solo.

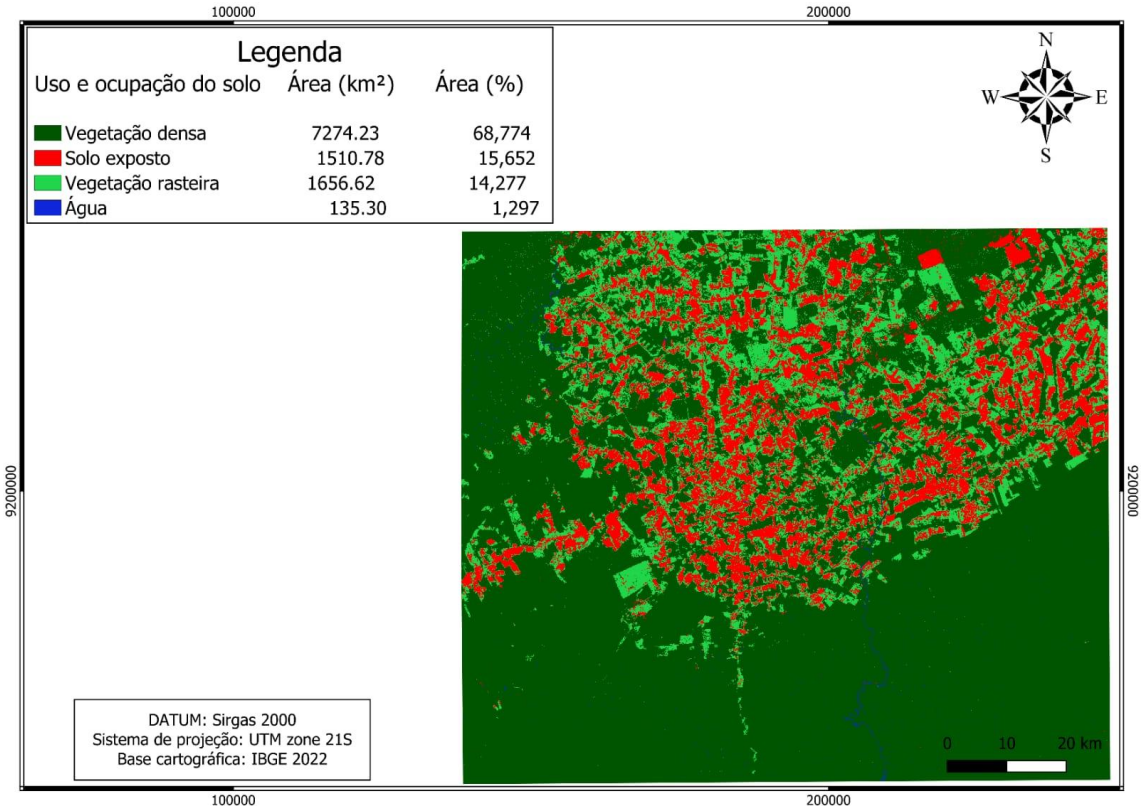

Figura 03. Uso e ocupação do solo de área de estudo no município de Apuí.

Com base nos dados fornecidos, podemos concluir que a vegetação densa cobre a maior parte da área, totalizando 7274,23km² e ocupando 68,774% do território. Isso indica que a região possui uma extensa cobertura florestal, o que sugere uma área rica em biodiversidade e importante para a conservação ambiental. Por outro lado, o solo exposto, com uma área de 1510,78km² e representando 15,652%

do território, pode indicar atividades agropecuárias intensivas na região. A vegetação rasteira, cobrindo 1656,62km² e ocupando 14,277% do território, também pode ser resultado de práticas agropecuárias, como pastagens ou plantações mais rasteiras.

A presença de água, com uma área relativamente pequena de 135,30km² e ocupando 1,297% do território, pode indicar a presença de rios, lagos ou reservatórios na região, que podem ser utilizados para a atividade agropecuária, além de serem importantes para a fauna e flora locais.

Em suma, esse mapa sugere que a região possui uma grande atividade agropecuária, impactando diferentes tipos de vegetação e recursos naturais. É importante que haja um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental, a fim de garantir a sustentabilidade da região a longo prazo.

No que se refere à área de estudo no município de Manicoré (Figura 04), observa-se ainda uma maior incidência de vegetação densa, no entanto, com um número significativo também de áreas de pastagem e solo exposto, além dos campos naturais, denotando uma maior atividade agrícola nesta região, principalmente para a pecuária.

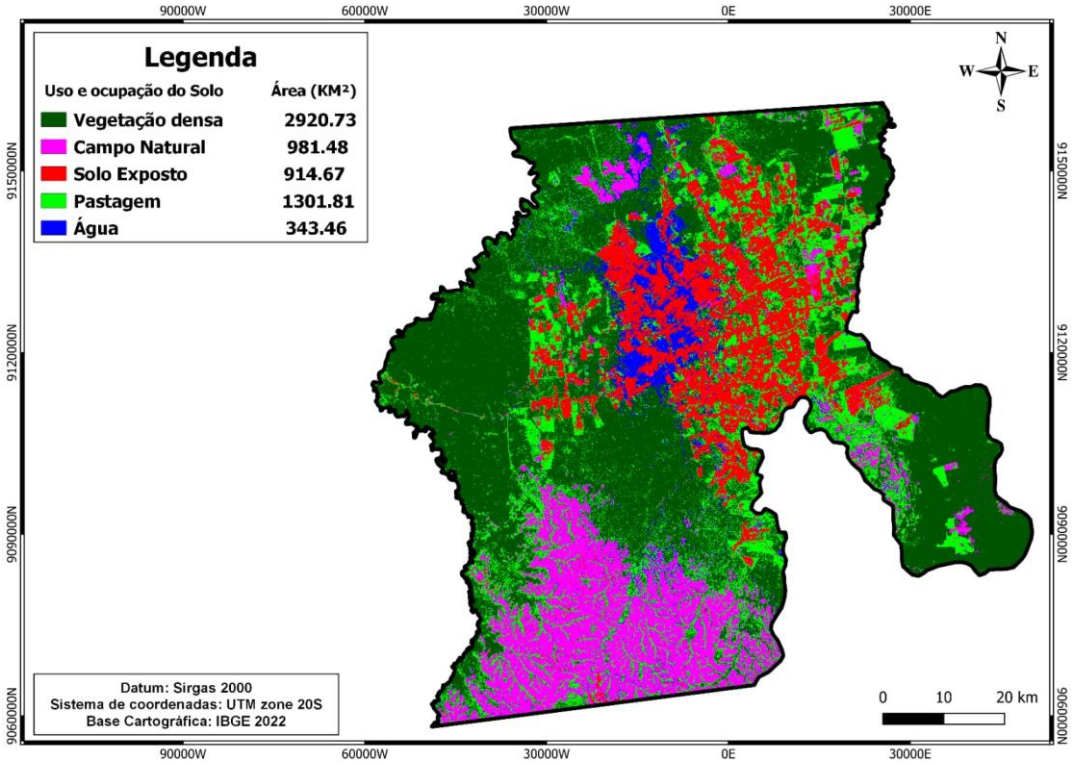

Figura 04. Uso e ocupação do solo de área de estudo no município de Manicoré.

Desta forma, os estudos sobre erosão e a própria erosividade da chuva vem se tornando mais importantes nos últimos anos, e em diversas áreas da ciência (TEIXEIRA et al., 2022). Bertoni e Lombardi Neto (2005) afirmam que fatores como infiltração, topografia do terreno, cobertura vegetal e à natureza do solo; influenciam na intensidade do processo erosivo. Avaliar a perda de capacidade de armazenamento de água dos reservatórios pela deposição dos sedimentos, calcular a perda potencial de solo em terras cultivadas e poder estimar com precisão a erosão causada pela chuva é de suma importância.

A chuva é o fator chave para a desagregação do solo, causando perdas, às vezes, significativas para o local aonde incide. Por ser um evento natural, não existe maneiras de evitá-la, tão pouco ignorá-la. É preciso conhecer os efeitos que os diferentes volumes de precipitação podem causar na área que se deseja ocupar, para fins de gestão, planejamento mais sustentáveis e corretos (WEILER, 2017).

Um dos importantes fatores calculados da EUPS é o fator R, isto é, o fator de erosividade da chuva. De modo geral, a erosividade da chuva pode ser definida como o potencial da chuva em causar erosão no solo em função das características físicas da própria chuva, tais como quantidade, intensidade e energia cinética (BACK; POLETO, 2018).

A erosividade é o termo que expressa a capacidade potencial do agente erosivo, água ou vento, de causar erosão. Como expressão da capacidade erosiva da chuva, foi selecionado o parâmetro composto EI30 (energia cinética de impacto das gotas "E" pela intensidade máxima da chuva em 30 minutos "I30"), propondo-o como índice de chuva, fator R da Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Desta forma, para a área de estudo no município de Humaitá, envolvendo áreas de floresta e campos naturais, foi obtida média de erosividade de 9772,8 MJ.mm.ha-1.ano-1 para Equação R (erosividade forte) (Figura 05).

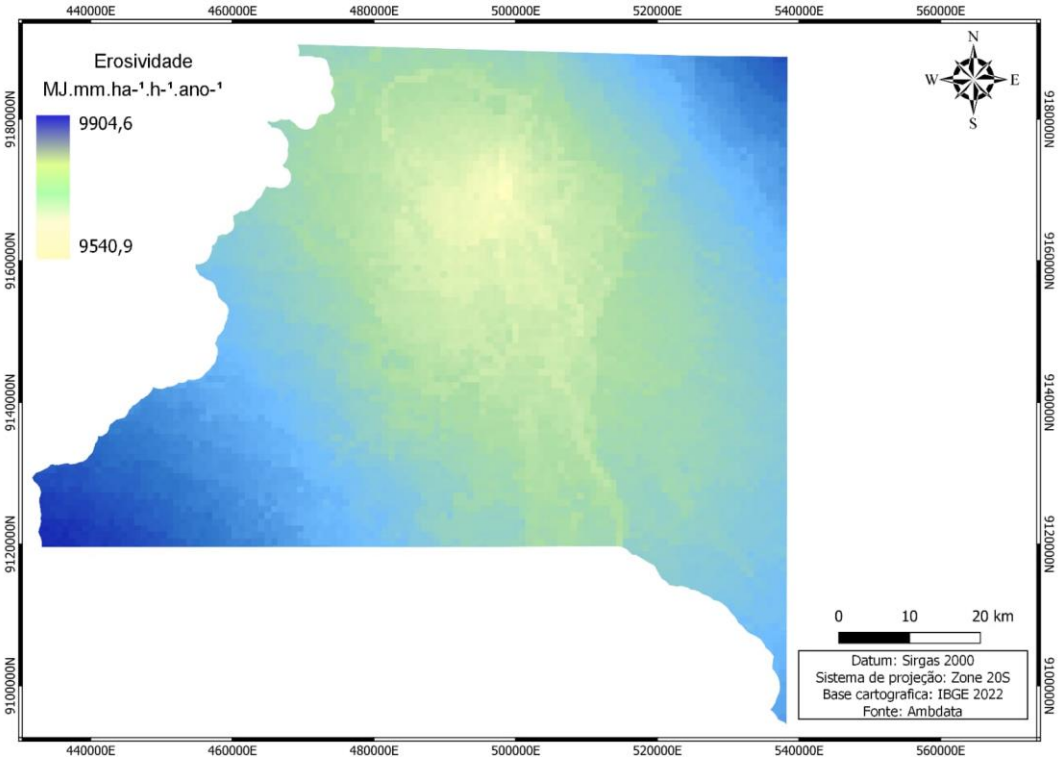

Figura 05. Mapa de Erosividade da área de estudo no município de Humaitá.

Para a área de estudo no município de Apuí, envolvendo áreas de plantio das culturas de cacau e café, foi obtida média de erosividade de 8798,6 MJ.mm.ha-1.ano-1 para Equação R (erosividade forte) (Figura 06). Enquanto que para a área de estudo no município de Manicoré, envolvendo áreas de pastagem, foram obtidas média de erosividade de 8928,7 MJ.mm.ha-1.ano-1 para Equação R (erosividade forte) (Figura 07).

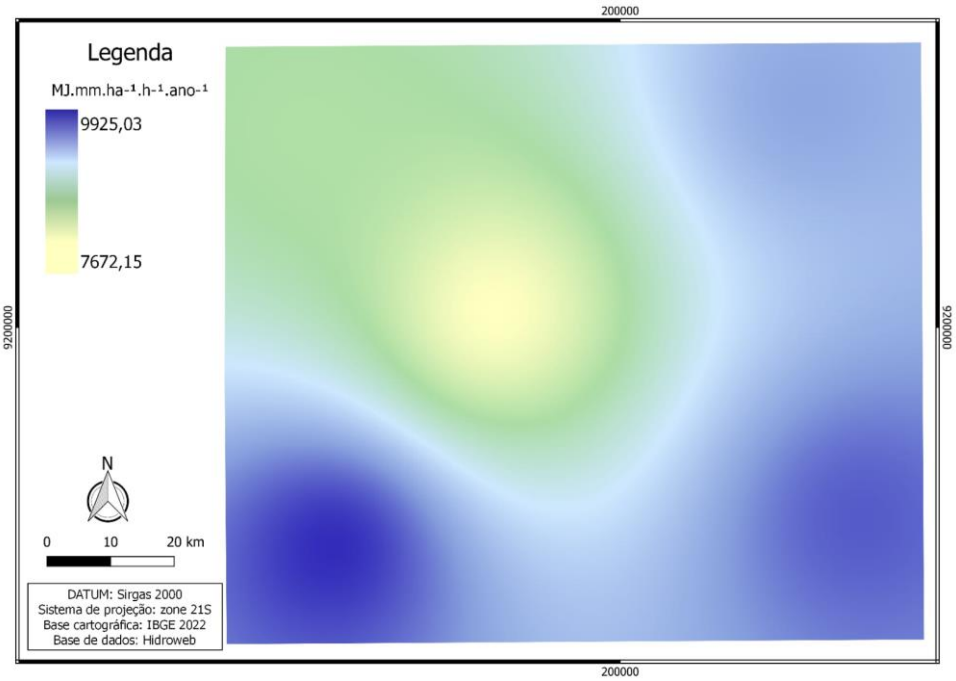

Figura 06. Mapa de Erosividade da área de estudo no município de Apuí.

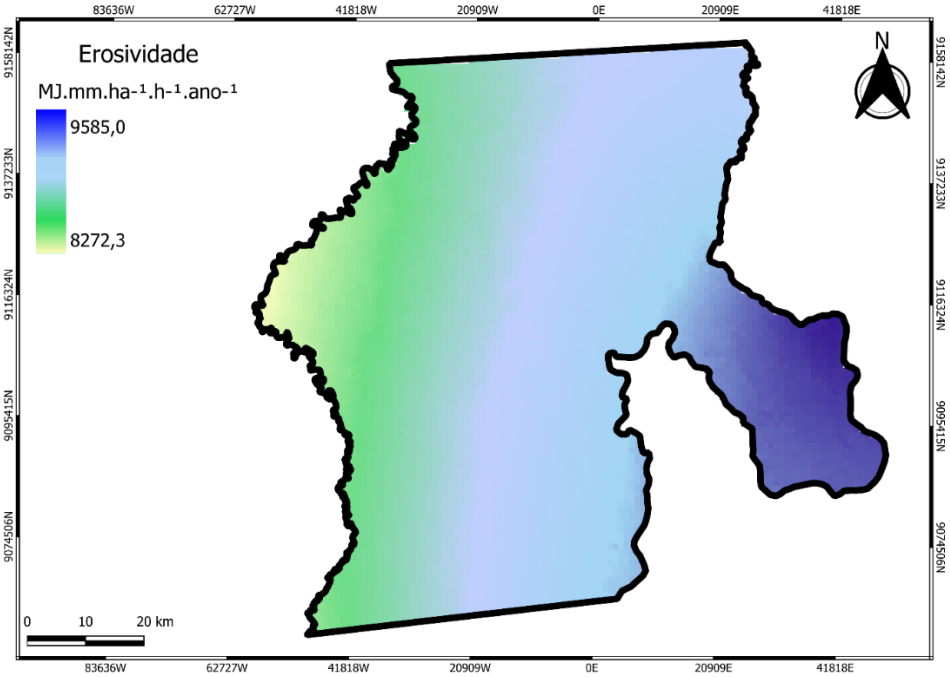

Figura 07. Mapa de Erosividade da área de estudo no município de Manicoré.

Como pode ser observado nas Figuras 08 a 13, os maiores índices de Erosividade da Chuva ocorreram entre os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro, sofrendo uma queda brusca entre os meses de maio a setembro, o que vem de acordo dados do INPE que indicam que o período de chuvas ou forte atividade convectiva na região Amazônica é compreendido entre novembro e março, sendo que o período de seca (sem grande atividade convectiva) é entre os meses de maio e

setembro. Os meses de abril e outubro são meses de transição entre um regime e outro.

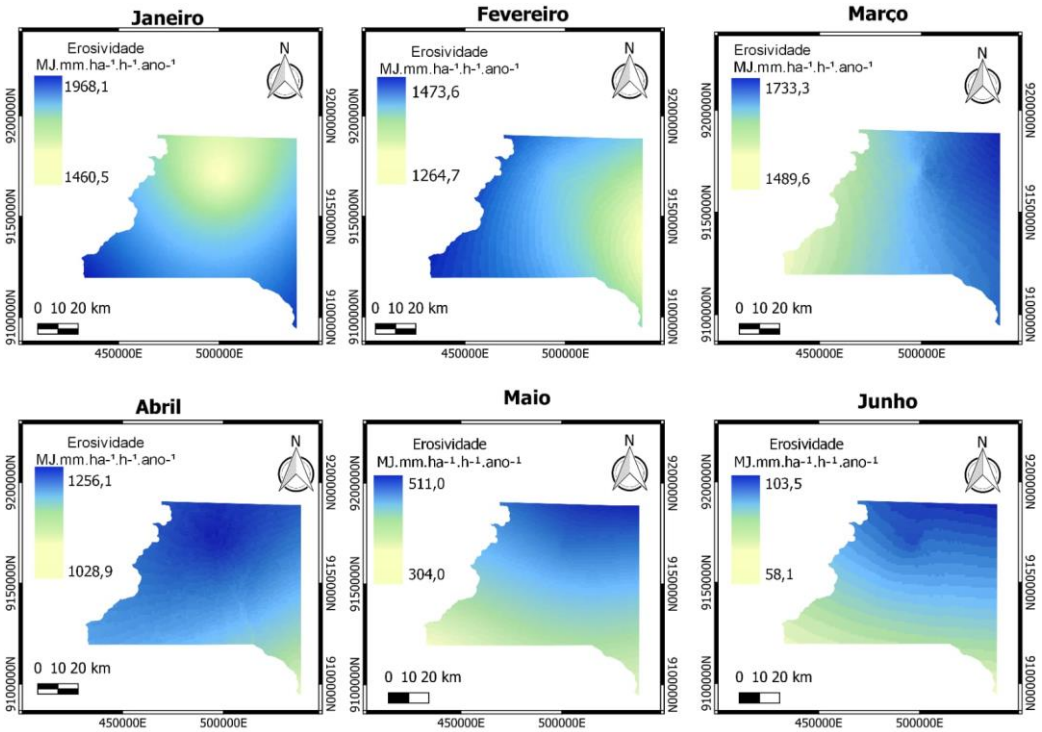

Figura 08. Erosividade da área de estudo no município de Humaitá, de janeiro a junho de 2023.

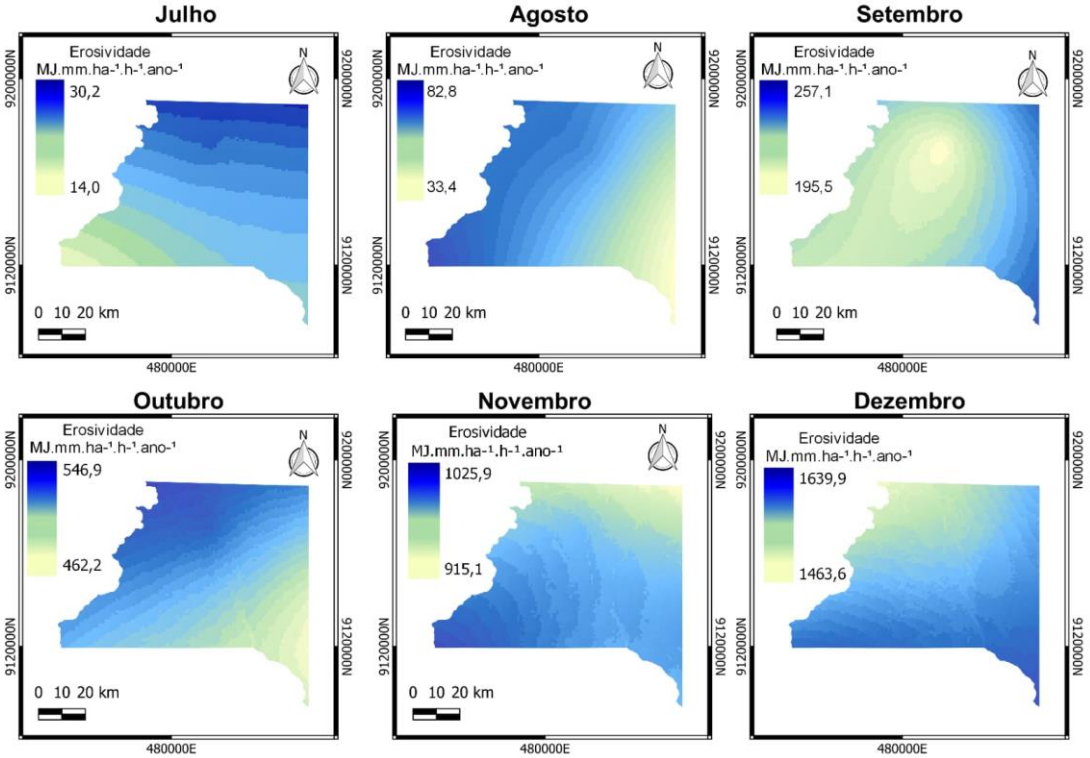

Figura 09. Erosividade da área de estudo no município de Humaitá, de julho a dezembro de 2023.

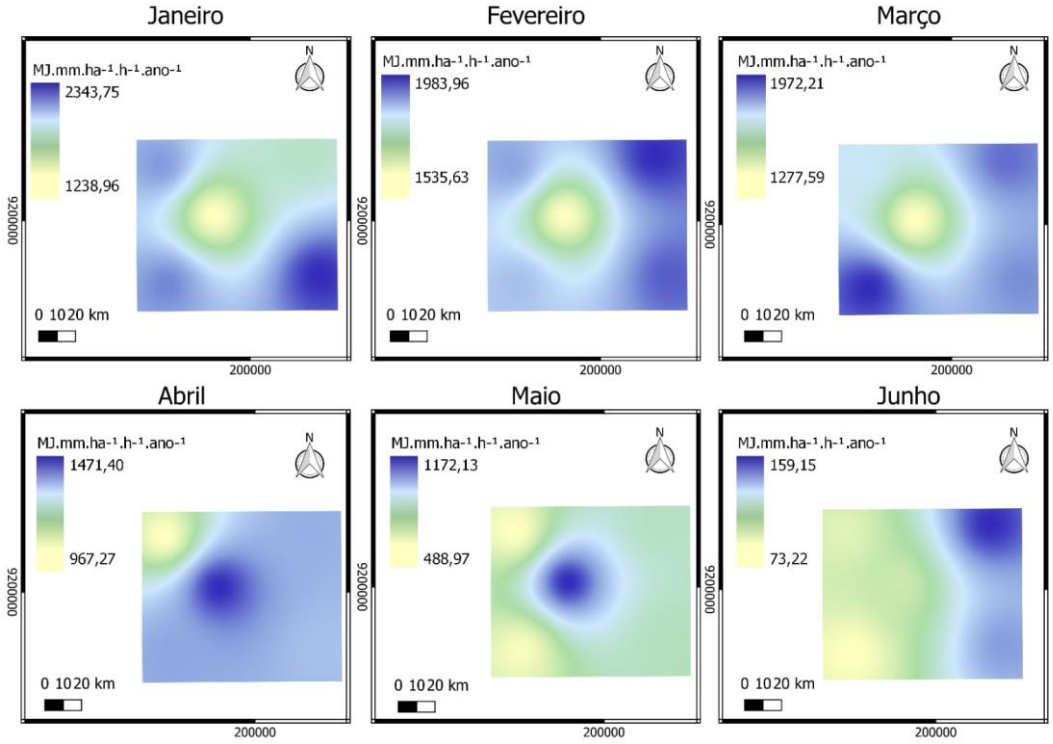

Figura 10. Erosividade da área de estudo no município de Apuí, de janeiro a junho de 2023.

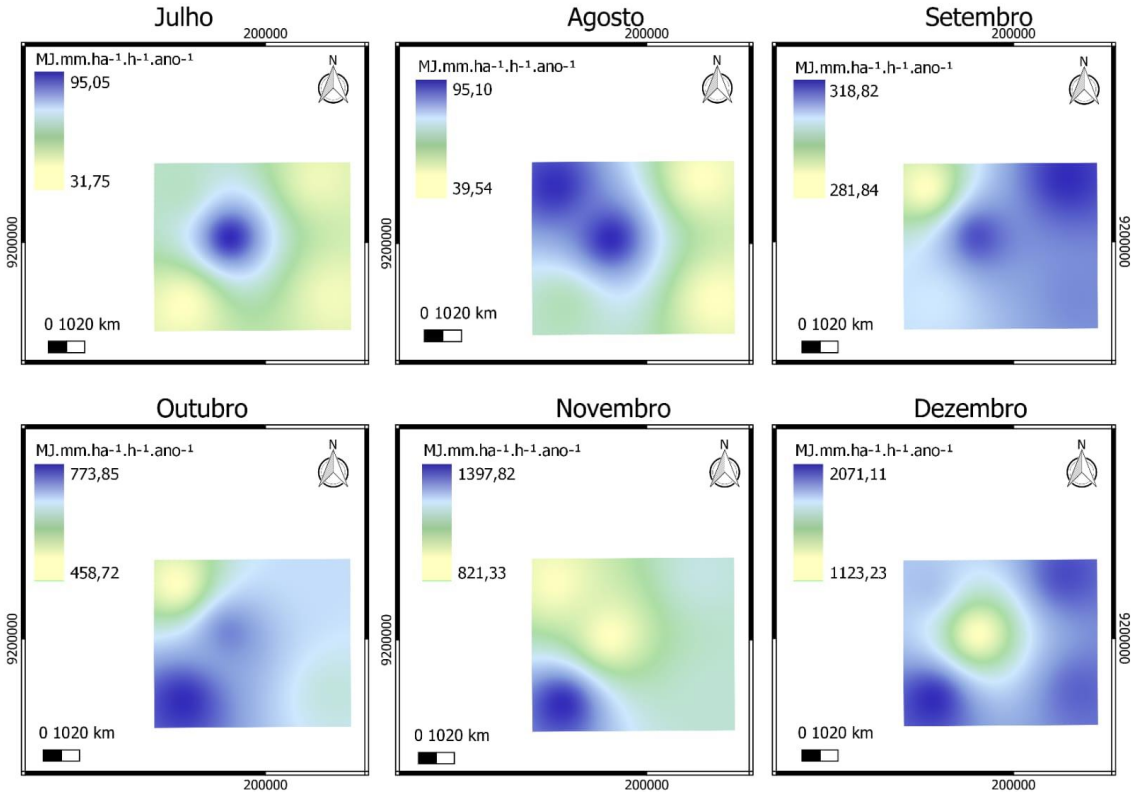

Figura 11. Erosividade da área de estudo no município de Apuí, de julho a dezembro de 2023.

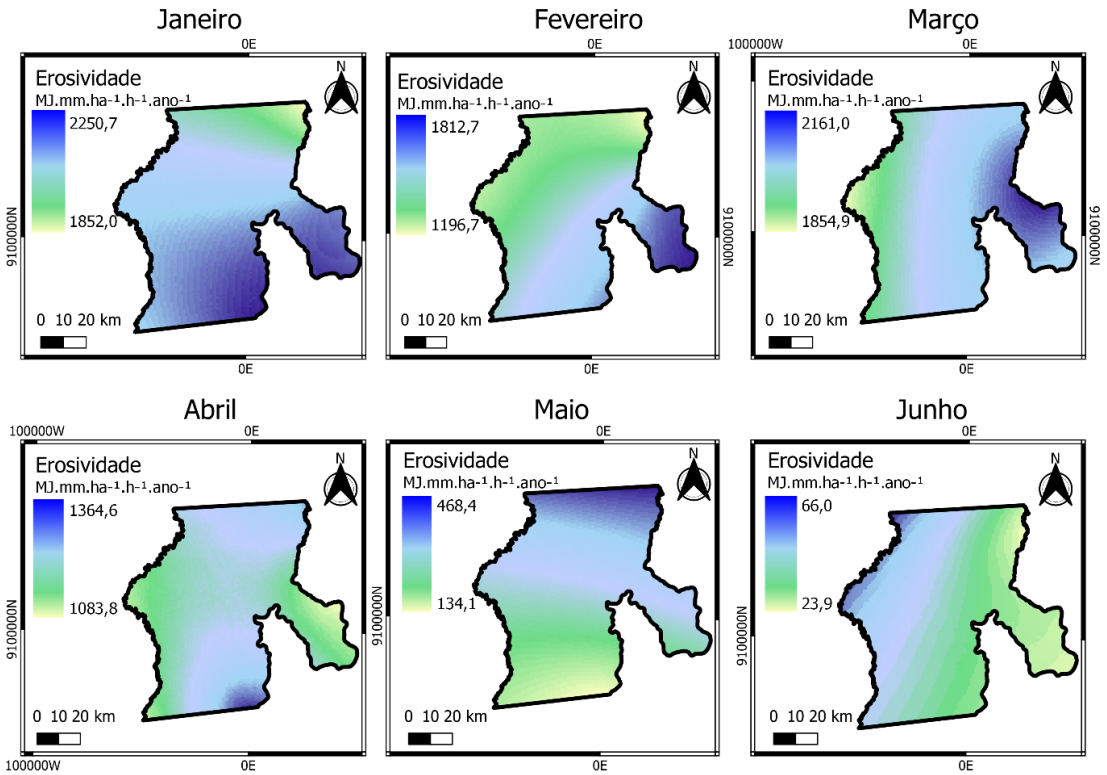

Figura 12. Erosividade da área de estudo no município de Manicoré, de janeiro a junho de 2023.

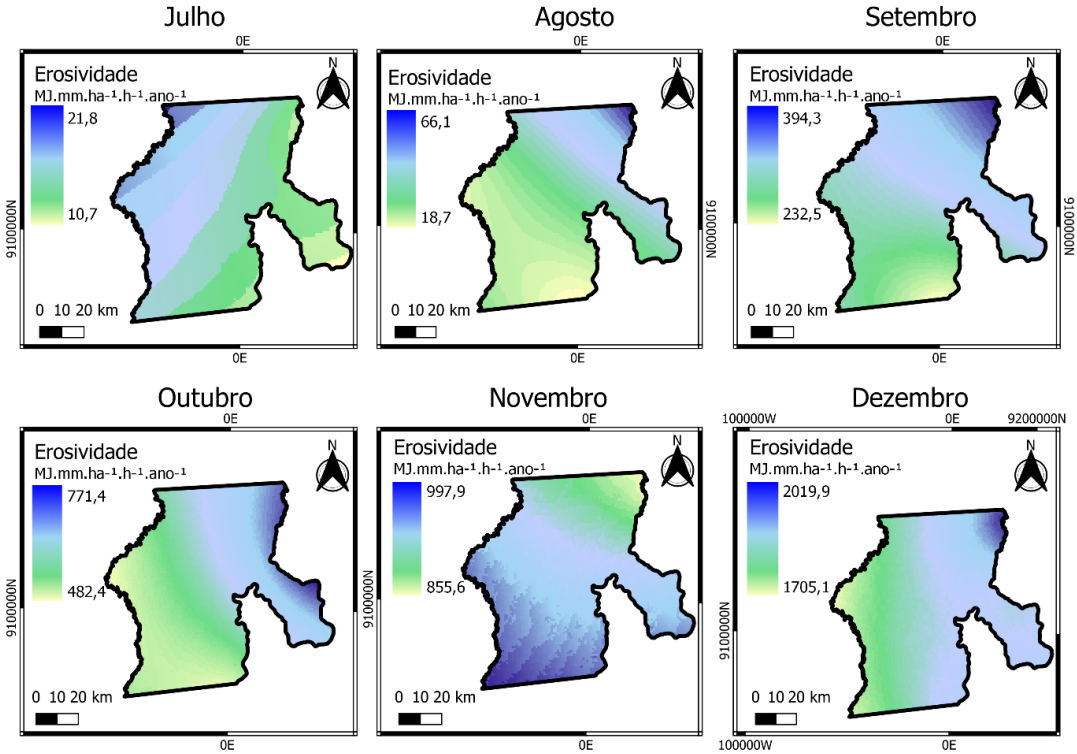

Figura 13. Erosividade da área de estudo no município de Manicoré, de julho a dezembro de 2023.

A erosividade da chuva nos informa que a intensidade e a quantidade de chuva são fatores determinantes na ocorrência da erosão hídrica. Ou seja, precipitações mais intensas e em maior quantidade aumentam o potencial erosivo da chuva, causando um impacto mais significativo na degradação do solo. Além disso, a declividade do terreno também influencia na erosão, uma vez que a velocidade do escoamento superficial é maior em áreas mais inclinadas, aumentando a remoção de partículas do solo.

Dessa forma, a associação entre declividades e erosividade da chuva é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo do solo. Em áreas com maior declividade e maior potencial erosivo da chuva, é necessário adotar práticas de conservação do solo, como a construção de terraços, curvas de nível e plantio em nível, para reduzir o impacto da erosão hídrica. Além disso, a adoção de práticas de manejo adequadas, como rotação de culturas, plantio direto e manejo da cobertura do solo, também são essenciais para minimizar os efeitos da erosão e preservar a fertilidade e a estrutura do solo.

Portanto, a compreensão da relação entre declividades, erosividade da chuva e práticas de manejo do solo é fundamental para garantir a sustentabilidade das atividades agrícolas e a conservação dos recursos naturais.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), a erosão hídrica é a principal causa de degradação de solos agrícolas devido à remoção de partículas de solo e de nutrientes da camada superficial. Ela é provocada pelo desprendimento e a consequente desagregação das partículas do solo pelo impacto da chuva, ocasionando o selamento superficial, reduzindo a taxa de infiltração de água e aumentando o escoamento superficial. As consequências diretas da erosão são a redução da capacidade produtiva dos solos em razão da perda da camada de solo com melhor condição de fertilidade, estrutura e conteúdo de matéria orgânica.

Desta forma, como de acordo com esta afirmação, em todas as áreas de estudo, os meses de dezembro de março apresentaram as maiores médias de erosividade, seja em áreas de floresta e campos naturais ou áreas de plantio de culturas ou pastagens. Assim como os meses de junho a agosto apresentaram as

menores médias de erosividade, independente da área de estudo, reforçando a relação entre as chuvas e seu potencial erosivo.

O Potencial Natural de Erosão (PNE) é uma grandeza indica onde ocorrerá maior ou menor erosão, sem considerar os fatores antrópicos, naturais e práticas de conservação (BRANDÃO, 2001).

A quantificação e o mapeamento do potencial natural de erosão permitem traçar uma visão sobre os processos erosivos naturais em uma bacia hidrográfica, pois relacionam às características naturais do meio, como as chuvas, o solo e o relevo. Dessa forma, a aplicação de modelos matemáticos capazes de estudar essa dinâmica erosiva, quando associada aos sistemas de informações geográficas, pode servir como ferramenta para o planejamento ambiental (PRESTES; CORRÊA, 2019).

Segundo Bueno e Stein (2005), o PNE é a interação dos principais fatores naturais do meio físico. Os mesmos autores asseguram que os valores não devem ser analisados quantitativamente, pode ser feita uma classificação qualitativa observando os graus de potenciais erosões. Ainda de acordo com os autores o Potencial Natural de Erosão é medido com a utilização de fatores relacionados com o meio físico (erosividade da chuva, erodibilidade do solo e fator topográfico) da USLE, os fatores pertinentes ao meio antrópico são desconsiderados.

Sobre o PNE, analisando os mapas (Figuras 14, 15 e 16) percebe-se visualmente que há pouca variação de cores entre os cenários, com uma maior concentração entre as classes Baixa e Média e apenas uma menor concentração entre as classes Muito Alta e Extremamente Alta.

Nas áreas de estudo no município de Humaitá (Figura 14), de acordo com suas características, observa-se uma predominância média na questão do potencial natural de erosão, enquanto que o outro potencial extremamente alto praticamente se demonstra insignificante, em relação ao tamanho da área estudada em quilômetros quadrados.

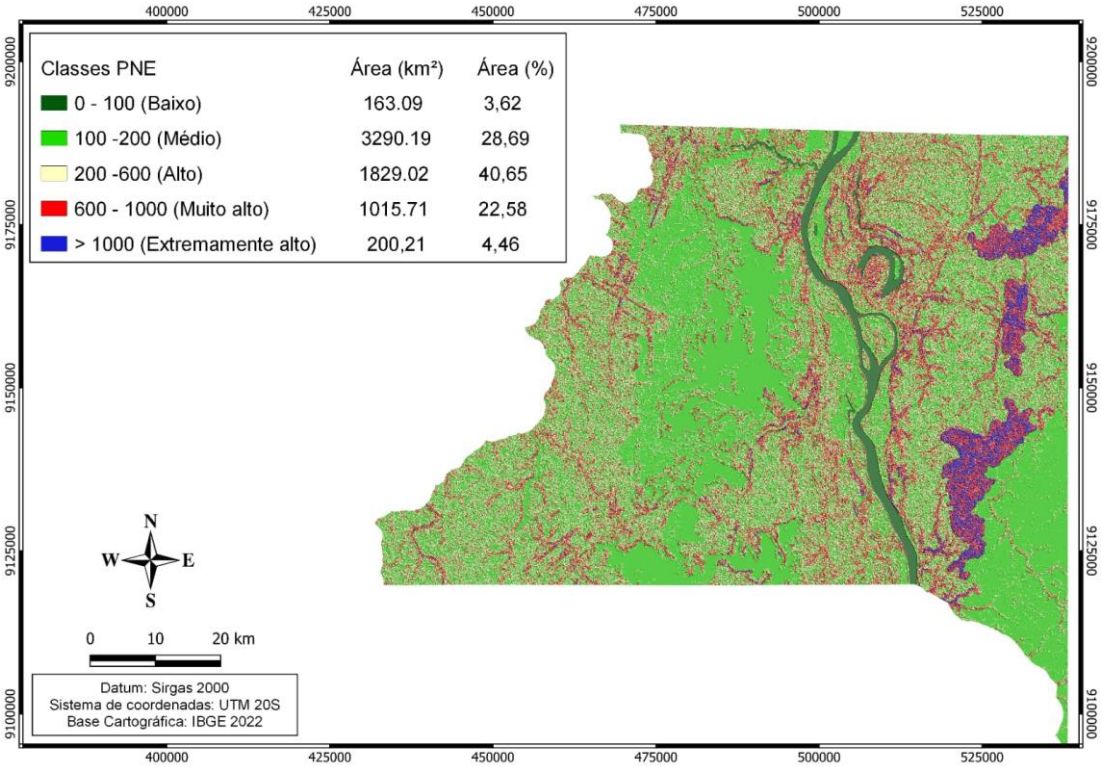

Figura 14. Potencial Natural de Erosão de área de estudo no município de Humaitá.

Enquanto que nas áreas de estudo nos municípios de Apuí e Manicoré (Figuras 15 e 16), de acordo com suas características, áreas de plantio e pastagem, respectivamente, já pode-se observar uma equivalência maior no potencial natural de erosão baixo e médio, além de um número significativo de áreas com um alto potencial erosivo, provavelmente devido às atividades agrícolas ali desenvolvidas. No entanto, da mesma forma que observado na área do município de Humaitá, o potencial extremamente alto praticamente se demonstra insignificante, em relação ao tamanho da área estudada em quilômetros quadrados.

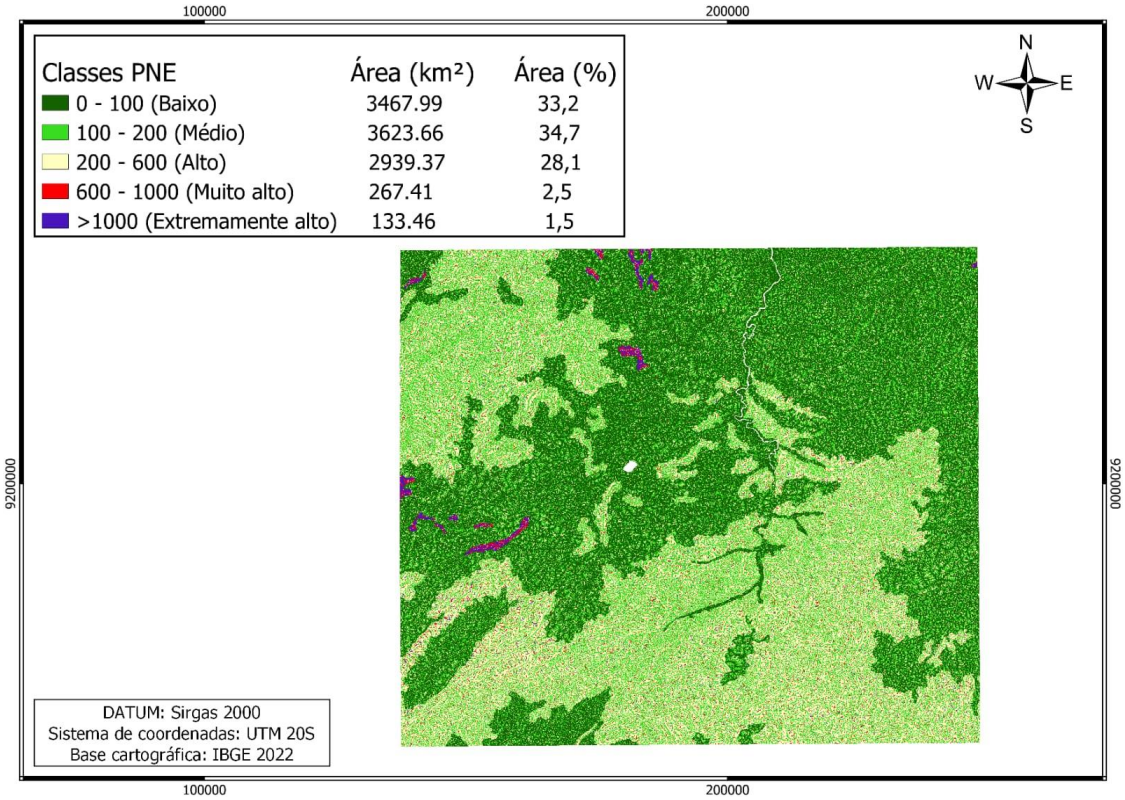

Figura 15. Potencial Natural de Erosão de área de estudo no município de Apúi.

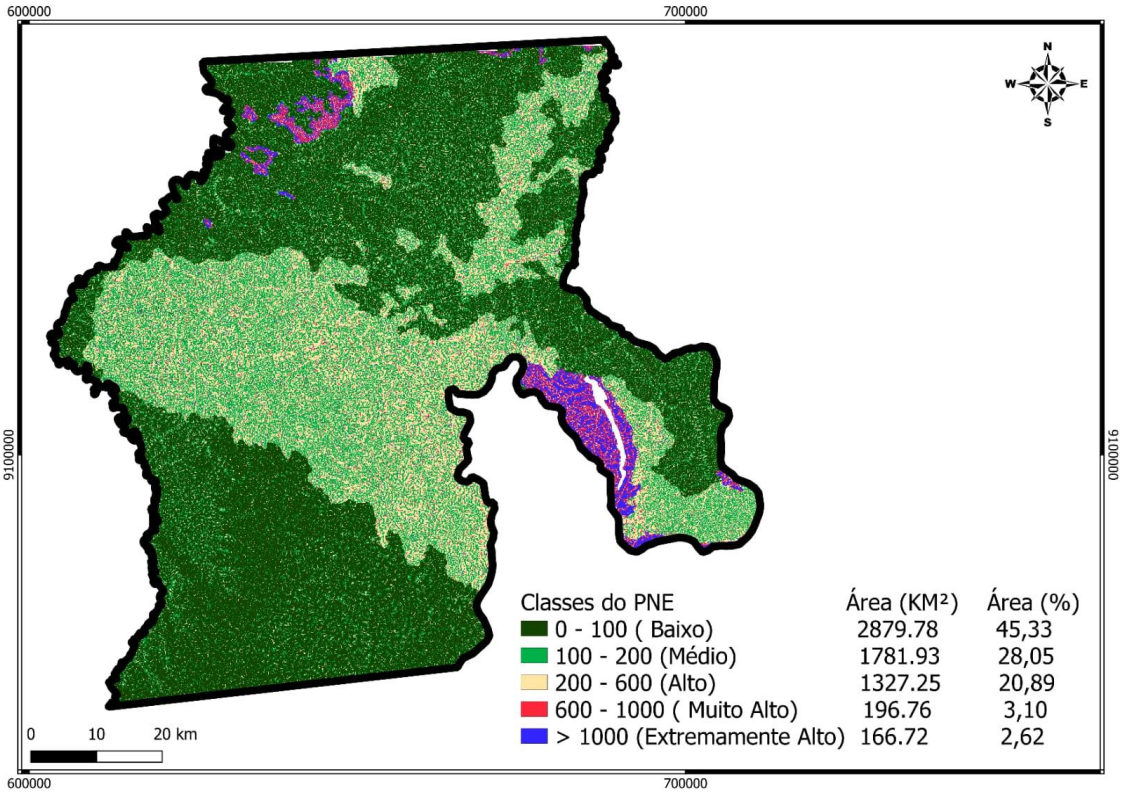

Figura 16. Potencial Natural de Erosão de área de estudo no município de Manicoré.

A erodibilidade do solo (Fator K) é um atributo complexo e é considerado como a suscetibilidade com que o solo é desagregado por salpicos durante a chuva ou por escoamento superficial ou ambos (RÖMKENS et al., 1997). A erodibilidade do solo representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em face aos processos erosivos (Lal, 1988).

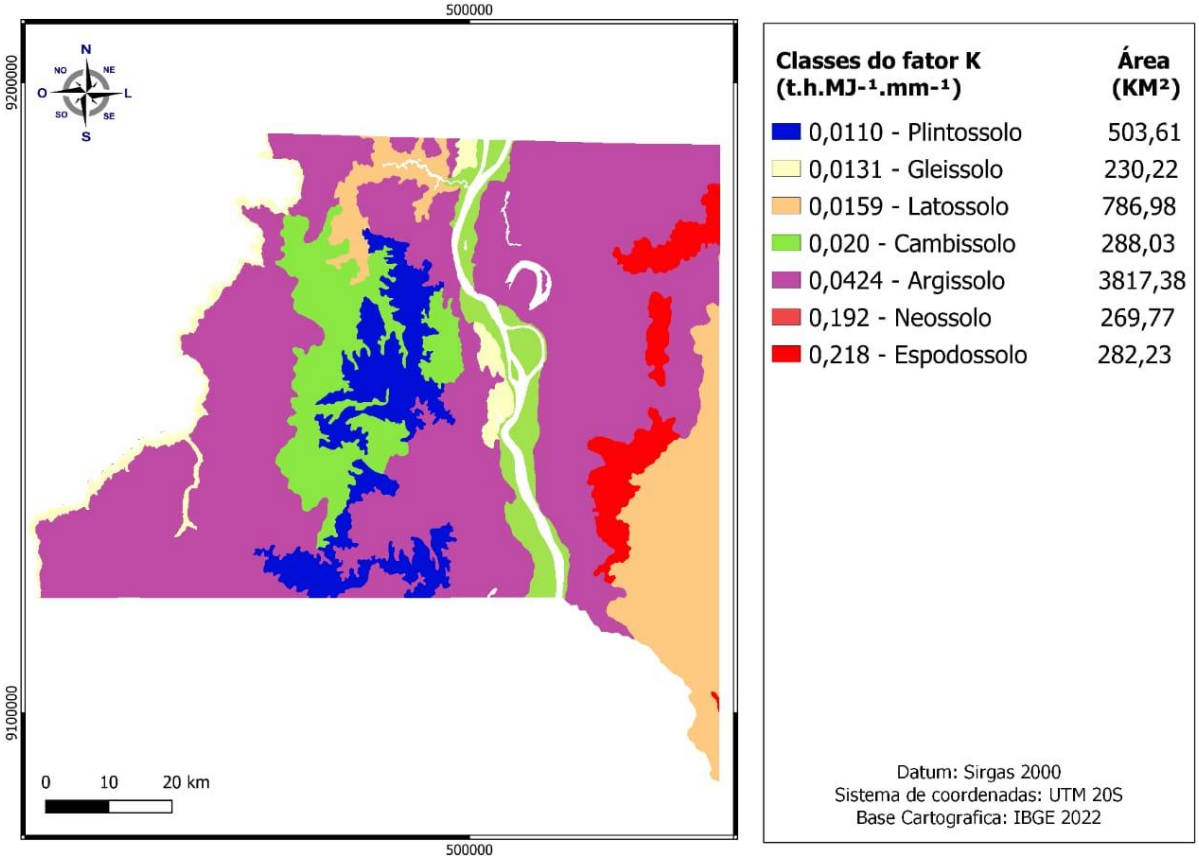

Figura 17. Fator de Erodibilidade do solo de área de estudo no município de Humaitá.

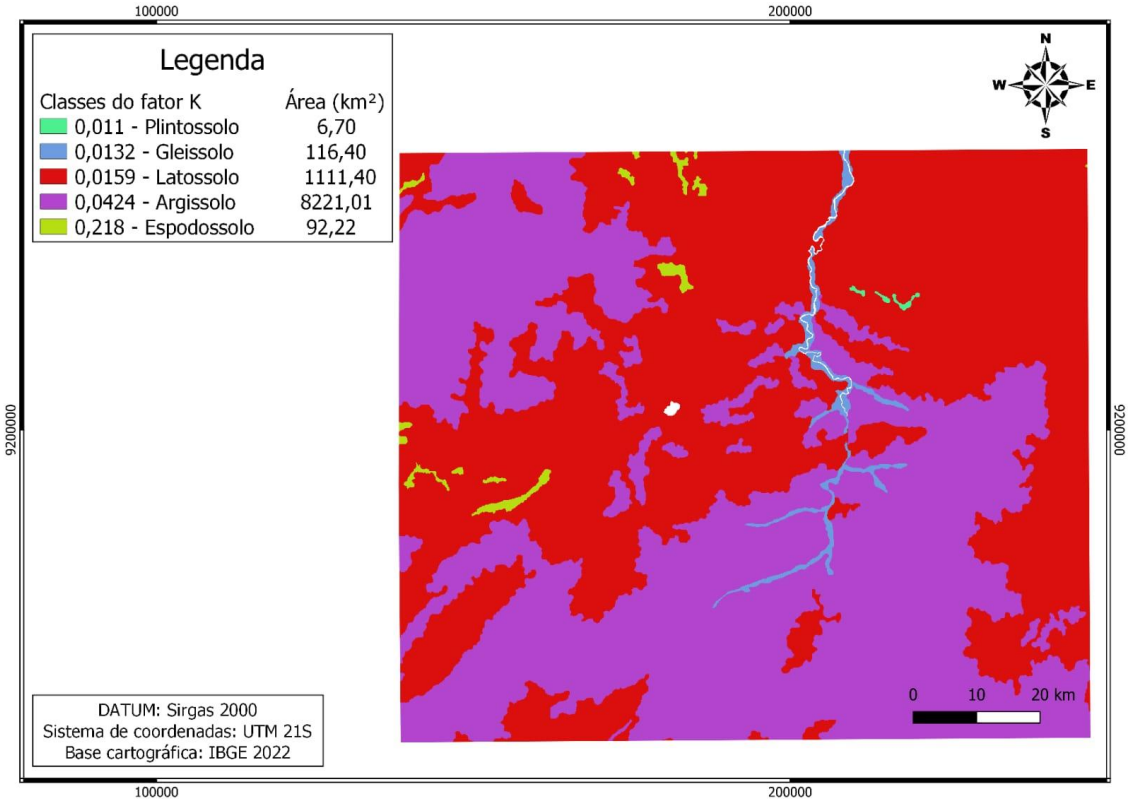

Figura 18. Fator de Erodibilidade do solo de área de estudo no município de Apuí.

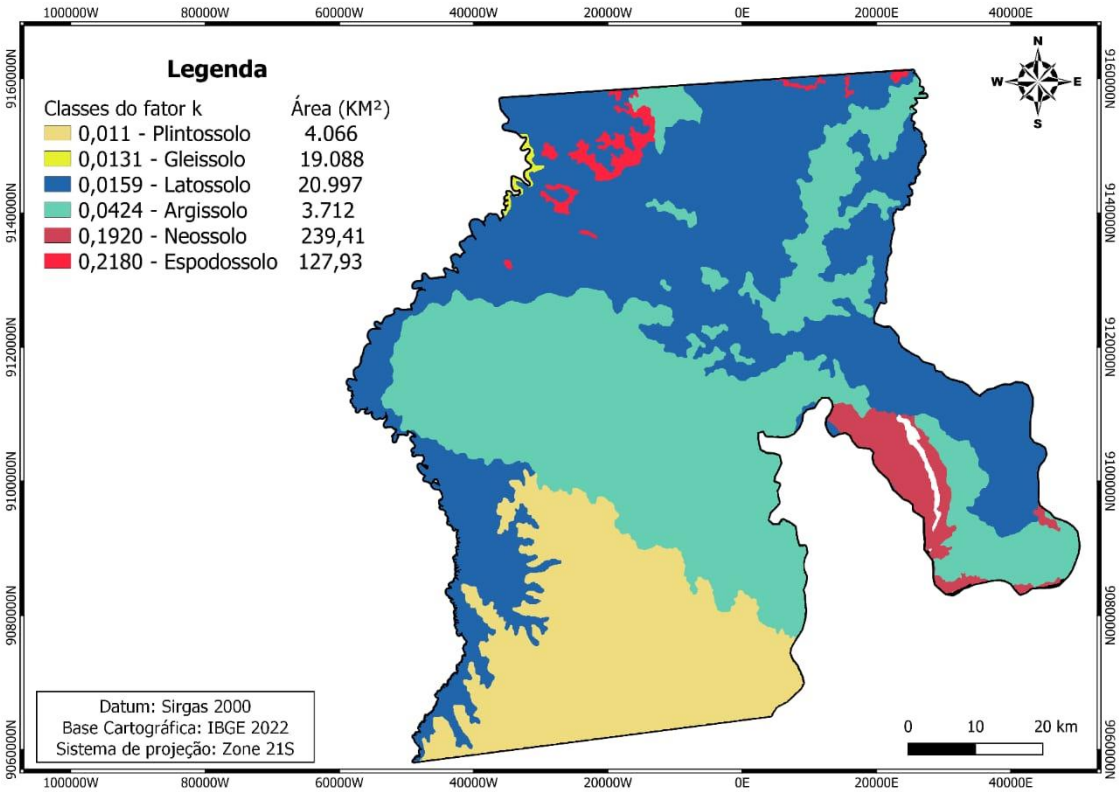

Figura 19. Fator de Erodibilidade do solo de área de estudo no município de Manicoré.

Após o cálculo da erodibilidade aplicado, observa-se nas Figuras 17, 18 e 19 que os maiores índices ocorrem em Espodossolos que possuem como característica a textura predominantemente arenosa e raramente argilosa e Neossolos, que também podem caracterizar-se por uma composição de material mineral ou por material orgânico pouco espesso, textura arenosa e baixa retenção de umidade. Segundo Montebelo (2005), a textura do solo afeta a erodibilidade por afetar os processos de desagregação e transporte, pois, grandes partículas de areia resistem ao transporte ao passo que solos de textura fina são mais suscetíveis à desagregação e ao transporte.

Segundo dados de pesquisas, as áreas de solos mais arenosos apresentam maior potencial à erosão do que aquelas de solos argilosos, dada às suas estruturas e erodibilidade, impermeabilidade e porosidade, conforme o tipo de uso da terra, precipitação e topografia e, com base nessas variáveis, os resultados de métodos estatísticos podem apresentar dados diversos (UEMA et al, 2024).

Por outro lado, áreas constituídas por Plintossolos, Gleissolos, Latossolos e Argissolos apresentaram menores índices de erodibilidade provavelmente devido sua maior composição argilosa e, de forma geral, apresentarem-se como características serem profundos, porosos, bem drenados e permeáveis, sendo os Latossolos e Argissolos os que apresentaram maior predominância em área, por serem os mais característicos do Estado do Amazonas.

7. CONCLUSÃO

O solo é o sustentáculo da vida e todos os organismos vivos, sejam animais ou vegetais, dependem dele direta ou indiretamente. Devido a isso, tornou-se de substancial importância cuidá-lo e prepara-lo para que o mesmo possa propagar vida, de forma que não o agrida ou o desgaste. Desta forma, o ser humano passou a realizar diversas pesquisas e estudos, de forma a conhecer suas características, tipos e propriedades químicas, físicas e biológicas, para facilitar o seu manejo e conservar sua fertilidade.

A partir dessa compreensão de sua importância e necessidade de cuidados, diversas técnicas foram criadas de forma a garantir essas características, principalmente através da introdução da agricultura sustentável, que se caracteriza por ser uma atividade de produção que visa também uma maior responsabilidade na manutenção de todos os recursos ambientais disponíveis, incluindo-se o solo utilizado em suas atividades. Através do desenvolvimento da agricultura sustentável, diversas técnicas de manejo foram criadas para que se evitasse ou minimizassem os problemas no solo, como a contaminação, degradação, erosão, entre outros.

Essa pesquisa teve por objetivo principal estabelecer o zoneamento do potencial de perda de solo e de parâmetros de erodibilidade em ambientes naturais e antropizados no Sul do Amazonas, com estudo de caso em áreas pré-definidas nos municípios de Humaitá, Manicoré e Apuí, no Estado do Amazonas. A equação foi espacializada com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica, o software ArcGis 10.2.1 para a espacialização dos fatores de erosividade da chuva, erodibilidade do solo, topografia e uso do solo.

Foram trabalhados 4 cenários, incluindo 04 áreas distintas, sendo área de campos naturais e de floresta, município de Humaitá-AM; área de pastagem no Distrito de Santo Antônio do Matupi, no município de Manicoré-AM e; áreas de plantio de cacau, café e pastagem no município de Apuí-AM.

A partir dos resultados, foi possível verificar a sensibilidade das diferentes equações regionais desenvolvidas para cálculo do fator de erosividade da chuva e erodibilidade do solo na região de estudo.

No que se refere à influência da alteração dos fatores de uso e ocupação do solo) em relação à variável erosão, observou-se significativas alterações na distribuição de áreas quanto a suscetibilidade erosiva entre os 4 cenários observados.

Observou-se ainda que as maiores médias de erosividade ocorrem entres os meses de janeiro a março e outubro a dezembro, devido ao maior indíce pluviométrico na região, independente do cenário estudado, seja em áreas de floresta e campos naturais não antropoformizados ou áreas utilizadas na agricultura ou pecuária, assim como as menores médias decorrem entre os meses de junho a agosto, sendo os meses de abril e maio e setembro a outubro, considerados de transição entre os períodos climáticos no Amazonas.

Os resultados da aplicação indicam que a ferramenta pode ser utilizada na diferenciação dos potenciais erosivos entre áreas com diferentes usos e ocupação do solo, diferentes tipos de solos e diferentes declividades, sendo possível criar mapas variados para área em estudo, fornecendo informações úteis para tomadores de decisão, que possam priorizar e implementar as melhores práticas de gestão para reduzir a carga de erosão.

Conclui-se, portanto, que o modelo possibilita a identificação de áreas suscetíceis à perdas de solo potencial, sendo possível quantificar e espacializar as áreas em conformidade com limites de perda de solo potencial e potencial e de parâmetros de erodibilidade em tanto em ambientes naturais quanto ambientes antropizados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F. A. (1998). **Adubação verde na recuperação da fertilidade de um solo degradado**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, Brasil. 104p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. HIDROWEB: Sistema de Informações Hidrológicas. 2001.

BACK, A. J., POLETO, C. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 381-403, jan/jun 2018. DOI 10.5380/abclima.v22i0.56914.

BACK, Á. J. Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perdas de Solo. Florianópolis: **Epagri**, 2023. 80p. (Epagri. Boletim Técnico, 210)

BATISTA, M. A. V.; NETO, F. B.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; GUIMARÃES, L. M. S.; SARAIVA, J. P. B.; SILVA, M. L. Atributos microbiológicos do solo e produtividade de rabanete influenciados pelo uso de espécies espontâneas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.31, n.4, p.587-594, 2013.

BERTOL, I.; ENGEL, F.L.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.B.; RITTER, S.R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.94, p.142-150, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARD NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ed. Ícone. 2005. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8.ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355p.

BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v.26, p.1-5, 2005.

CABRAL, C. E. A. et al. Estimativa de perda de solo em sistemas de monocultivo em lavouras de algodão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-8, 2010.

CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do médio rio Madeira**. 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; FIGUEIRA, S. B., INÁCIO, E. S. B.; SILVA, M. D. R. O. (2009). Linhas Isoerosivas do Estado de Pernambuco.1ª Aproximação. **Revista Caatinga,** 22, 75-80.

CARVALHO, A. M. **Caracterização física, química e mineralógica dos solos do município de Humaitá-AM.**1986. 166f.Tese(LivreDocência) Universidade do Estadod e São Paulo, Botucatu, 1986.

CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia prática. 2. ed. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2012. 599 p.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; NETO, A. L. S. SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G.; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p.521-528, 2012.

CENAMO, M. C.; CARRERO, G. C.; SOARES, P. G. **Redução de Emissões do Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+):** Estudo de Oportunidades para o Sul do Amazonas. Manaus, 2011. 56f. Série Relatórios Técnicos v.1 Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas – IDESAM.

COUTINHO, M. A Economia Brasileira (1954), de Celso Furtado. **História e Economia**, São Paulo/Lisboa, v. 18, n. 1, p. 39-61, 2017.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, p. 224- 233, 2015.

DIAS, N. D. S., DUARTE, S. N., GHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F. D., & SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 496-504, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. 212 p. 1997b.

FAO. “Climate-smart” agriculture: policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation. Rome: FAO, 2010. The document was prepared as a technical input for the Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change, to be held 31 October to 5 November 2010.

FONSECA, J. D. S. et al. Uso de semivariograma escalonado na variabilidade espacial da textura do solo em uma área de terra preta arqueológica sob floresta em ManicoréAM. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 1, p. 102-116, 2019.

FAO. Desarrollo sostenible de tierras aridas y lucha contra la desertificacion: Posición de la FAO. Rome. 30p. 1993.

FLACKE, K. W.; AUERSWALD, F. K.; NEUFANG, M. L. Combining a Modified Universal Soil Loss Equantion with a Digital Terrain Model for Computing High Resolution Maps of Soil Loss Rsulting from Raim Wash. CATENA, vol. 17, p. 383 – 397, 1990.

FREITAS, D. A. F. D., SILVA, M. L. N., CARDOSO, E. L., & CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 417-428, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Roma: Global soil partnership, 2019, 100p

GIAMBELLUCA, T. W. Hydrology of altered tropical forest. **Hydrological Processes**, v.16, n.8, p.1665-9, 2002.

GUERRA, Antônio José Teixeira; JORGE, Maria Carmo Oliveira. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GOULDING, M. **A ecologia da pesca do rio Madeira**. Manaus: CNPq/INPA. 178 p. MERONA, B; GASCUEL, D. The effects of flood regime and fishing effort on the overall abundance of an exploited fish community in the Amazon. Aquatic Living Resource. V. 6, p. 97-108, 1978.

HÖFIG, P.; ARAÚJO-JUNIOR, C. F. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. Revista Coffee Science, v. 10, n. 02, p. 195 – 203, 2015.

Instituto Nacional de Meteorologia. **INMET**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 25 mai 2023.

ICOTI. 1995. Informações básicas sobre o município de Manicoré. Relatório Técnico. Manaus. 71p.

KINNELL, P. I. A. The USLE-M and Modeling Erosion with in Catchments. USDA National Soil Erosion Research Laboratory, selected papers from the 10th international soil conservation organization meeting held, p. 924-928, 1999.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribuition of aggregates. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties including statisticsof measurement and sampling: part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510. (Agronomy, 9).

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R., ed. Soil erosion research methods. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. p141-160.

LAL, R. Degradation, and resilience of soils. Phil. Trans. R. Lond. B 352:997-1010. 1997.

LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, v.165, n.1, p.57-72, 2000.

LEITE, E.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio formiga, Tocantins. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v.4, n.12, p.90-106, 2012.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.1, p.139-146, 2011.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Modeling erosion and deposition: Topographic effects. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 29: 1624-1640, 1986.

MARTINS, J.C. & Pereira, M.G. Conservação do solo – principais ameaças. In: Pedro Jordão (Coord.), Boas Práticas no Olival e no Lagar, pp. 57-69. INIAV, I.P., Projecto PRODER, Operação nº 020315015205, REMDA-Olival. ISBN: 978-972-579-041-0. 2014.

MARTINS, J. C.; FERNANDES, R. Processos de degradação do solo –medidas de prevenção. **Revista vida rural**, p. 34-36, 2017.

MICHELOTTO, E. V. **Levantamento da qualidade do manejo do solo em propriedades agrícolas de Chopinzinho-PR**. (2018). Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, Pato Branco, Paraná, Brasil. 57p.

MONTEBELO, L. A.; CASAGRANDE, C. A.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; CUTOLO, A. P. A. **Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XII, 2005. Anais... Goiânia: INPE, 2005. p. 3829-3836.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. Blackwell, Oxford, 304 p., 2005. NAVAS, A.; et al. Assessing soil erosion in a Pyrenean Mountain catchment using GIS and fallout 137Cs. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, n. 03, p. 493506, 2005.

NUNES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; NUNES, J. C.; MANTOVANELLI, B. C.; CUNHA, J. M.; SOARES, M. D. R. APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS. **REVISTA DA UNIVERSIDADE VALE DO RIO VERDE**, v. 15, p. 549-557, 2017.

OLIVEIRA, F. F.; SANTOS, R. E. S. dos.; ARAUJO, R. da C. de. Processos erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes. Revista Brasileira de Iniciação Científica, **Itapetininga**, v.5, n.3, p. 60-83, abr./jun. 2018.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. A cada 5 segundos, mundo perde quantidade de solo equivalente a um campo de futebol. ONU News: Perspectiva Global Reportagens Humanas, 05 dez. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/12/1696801>. Acesso em: 10 ago. 2024.

OSMAN, K. T. Soil Degradation, Conservation and Remediation. Dordrecht: Spring, 2014.

PANAGOS, P., BORRELLI, P., POESEN, J., BALLABIO, C., LUGATO, E., MEUSBURGER, K., MONTANARELLA, L., ALEWELL, C., 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. **Environmental Science & Policy**, 54, 438-447.

PIMENTA, K. K. P., Bin, A., & Salles Filho, S. L. M. **Indústria e biodiversidade no Brasil**: o novo marco regulatório sobre o uso sustentável da biodiversidade. *Administração de empresas em revista*. 2020.

PRADO, J. B. P.; NÓBREGA, M. T. Determinação de perda de solos na bacia hidrográfica do córrego de Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS). **Acta. Sci. Technol**: Maringá, v. 27, n. 1, p. 33-42. 2005.

PRESTES, V.; CORRÊA, E.A. Potencial natural de erosão no alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, RS. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2019.

PINTO, S.A.F. & Garcia, G.J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise e modelos de Bacias Hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, 17: 30-37. 2005.

RODRIGUES, E. **Diagnóstico da fragmentação de habitats e expansão canavieira na Microrregião de Ceres, Estado de Goiás**. 2019.

RADAM. **Programa de Integração Nacional. Levantamentos de Recursos Naturais. (Manaus)** - Radam (projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Brasil, 626p, v.18. 1978.

RADAM BRASIL. Projeto Radambrasil. **Levantamento de recursos naturais. Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC. 22 Tocantins**. Rio de Janeiro. v.4 p. 1974.

RESENDE, Á. V. de; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C. dos.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, nº 156 – Dezembro/2016.

RÖMKENS, M. J. M.; YOUNG, R. A.; POESEN, J. W. A.; MCCOOL, D. K.; EL-SWAIFY, S. A.; BRADFORD, J. M. Soil erodibility factor (K). In: RENARD, K. G. et al. (Eds.) **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**, Washington: US Department of Agriculture, 1997. p.65-99. (Agriculture Handbook, n. 703).

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais** / Carlos Cesar Ronquim. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

ROSABONI, V. M.; et al. **Sistemas de manejo do solo contínuo para plantio direto de soja "Safrinha"**. XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA

2018. Disponível em: <https://maissoja.com.br/sistemas-de-manejo-do-solo-continuo-para-plantio-direto-de-soja-safrinha/>. Acesso em: 06 mar. 2022.

RUEDEL. J. **Princípios que fundamentam o sistema plantio direto**. In: RUEDELL, J. et al. Resultados Comparativos de 32 anos dos sistemas plantio direto e convencional. Porto Alegre: Sescoop/RS, 2019. 208 p.

SANTIAGO, C. M. C.; SALES, M. C. L. ; SILVA, E. V. ; PAULA, J. E. A. Erodibilidade do solo e a relação com as formas de uso e ocupação na bacia hidrografica do rio São Nicolau - Piaui. **Ambiente & Educação (FURG)**, v. 21, p. 154-175, 2016.

SANTOS, H. P. et al. Sistemas de manejo e rotação de culturas no rendimento de grãos e nas características agronômicas de trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrarias**, 7(3), p. 478–484, 2012.

SILVA, J. E. V. C.; MARTINS, M. M. de S.; PACHECO, M. J. B.; MENDONÇA, M. de S. **Estratégias e tecnologias sustentáveis na agricultura**. (2009). Disponível: < https://downloads.editoracientifica.org/articles/200901208.pdf>. Acesso: 06 mar. 2022.

SANTOS, J. Y. G.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. Perdas de água e solo utilizando chuva simulada em diferentes coberturas superficiais e condições de umidade no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 17(4): 217-228, 2012.

SILVA, G. D. P. D. Contribuições de técnicas de reabilitação ambiental de ambientes degradados do domínio morfoclimático dos Mares de Morros em Santa Catarina. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Geografia. 2020.

SANTOS, L. A. C. **Caracterização de Terras Pretas Arqueológicas na região Sul do Amazonas. Humaitá, 2011**. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2011.

SILVA, K. E.; PEREIRA, K. P. **Alterações na cobertura vegetal dos municípios do Sul do Amazonas**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. p. 1667 – 1671, 2005.

SILVA, M. de O.; VELOSO, L.; NASCIMENTO, D. L. do; OLIVEIRA, J. de; PEREIRA, D. de F.; COSTA, D. da S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Braz. J. of Develop**., Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, jul. 2020.

SOUZA, L. L. de. O debate em torno da sustentabilidade: desenvolvimento rural sustentável – Revisão de literatura. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n.12, p.96305-96322 dec. 2020.

TEIXEIRA, D. B. de S.; CECÍLIO, R. A.; MOREIRA, M. C.; PIRES, G. F.; FERNANDES FILHO, E. I. Recent advancements in rainfall erosivity assessment in Brazil: a review. **Catena**, v. 219, n. 106572, 2022.

UEMA, D. Y.; MULLER, T.; SANTIL, F. L. de P. Diagnóstico da Erosão, Transporte e Deposição de Solos em Pequena Bacia Hidrográfica: o caso do Ribeirão Jacupiranga. **Geografia** (Londrina), v. 33. n. 1. pp. 209 – 227, janeiro/2024.

VIDOTTO, E. et al. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. **ACTA Amazônica**, v. 37, p. 385– 400, 2007.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975.

WEILER, E. B. **Indicadores de perda de solo espacializados como ferramenta de apoio à decisão para gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas** / Elenice Broetto Weiler. – 2017. 137 p.; 30 cm.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion lossesfrom cropland east of the Rocky Mountain: Guide for selections of practices for soil and water conservation. Washington: **Department of Agriculture**. (USDA. Agriculture handbook, 282). 47p. 1965.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington, USDA. (Agriculture Handbook, 5). 58p. 1978.

WILLIAMS, J. R. Sedimente-yield prediction with Universal Equantion using runoff energy fator. In: **Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources.** U. S. Dep. Agr. ARS-S40, p. 244 – 252, 1975.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soiland study of the physical nature of erosion losses. **Journalof American Society Agronomy**, Madison, v. 28, n. 1, p.337-351, Jan. 1936.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 19:1467-1476. 1988.

ZIMDAHL, R. L. (2012). Agricultural Sustainability. In: Zimdahl, R. L. (Ed.) - **Agriculture's Ethical Horizon**, Cambridge, Academic press, p. 121-148.