



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



CAMILA RODRIGUES SOUSA

**ESTIMATIVA DOS FATORES DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA
MICROREGIÃO DE CHAPADINHA-MA**

Chapadina – MA

Julho de 2023

CAMILA RODRIGUES SOUSA

**ESTIMATIVA DOS FATORES DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA
MICROREGIÃO DE CHAPADINHA-MA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Profa. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira.

Co-orientadora: Ma. Maiane Rodrigues do Nascimento

**Chapadinha – MA
Julho de 2023**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Rodrigues Sousa, Camila.

ESTIMATIVA DOS FATORES DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA
MICROREGIÃO DE CHAPADINHA-MA / Camila Rodrigues Sousa. -
2023.

59 f.

Coorientador(a): Maiane Rodrigues do Nascimento.

Orientador(a): Kamilla Andrade de Oliveira.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha, 2023.

1. Análise de Erosão. 2. Geotecnologia. 3.
Microregião de Chapadinha-MA. 4. Perda de Solo. 5. USLE.
I. Andrade de Oliveira, Kamilla. II. Rodrigues do
Nascimento, Maiane. III. Título.

CAMILA RODRIGUES SOUSA

**ESTIMATIVA DOS FATORES DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA
MICROREGIÃO DE CHAPADINHA-MA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenação do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Maranhão como requisito indispensável para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Defendido e aprovado em 20 de Julho de,2023 pela comissão examinadora constituída pelos professores:

Kamilla Andrade de Oliveira (Orientadora)

Doutorado em Agronomia (Meteorologia Aplicada) pela
Universidade Federal de Viçosa, (UFV)
Professora adjunta do curso Engenharia Agrícola (CCAA/UFMA)

Maiane Rodrigues do Nascimento (Co-orientadora)
Engenheira Agrícola (Universidade Federal do Maranhão)
Mestra em Meteorologia Universidade Federal de Alagoas (ICAT/UFAL)

Mestranda no programa de pós-graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Alagoas, Maiara Rodrigues do Nascimento, Prof. Dr Ricardo Valadares da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Componente da banca

DEDICO:

Dedico esse trabalho ao meu pai Ronaldo Batista Sousa (*in memoriam*), com todo meu amor e gratidão, por tudo que fez por mim ao longo da minha vida, por acreditar e apoiar meu sonho.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, que sempre me conduziu nessa jornada, por seu amor e proteção.

Agradeço ao meu pai, Ronaldo Batista Sousa, que já se foi, mais continua sendo minha inspiração. Sou grata a minha mãe, Maria do Socorro Rodrigues Sousa e minha irmã, Ana Caroline Rodrigues Sousa por sempre me ajudarem nos momentos de dificuldades.

Agradeço minha querida Coorientadora Ms. Maiane Rodrigues do Nascimento pelos seus incentivos sua dedicação, compreensão e amizade.

Agradeço a Maiara Rodrigues do Nascimento por sempre me incentivar nessa jornada que é a graduação.

Agradeço ao meu esposo Lucas Silva dos Santos, por todo seu amor, companheirismo e compreensão.

Agradeço a minha orientadora Kamilla Andrade de Oliveira, por ser paciente comigo e ter aceitado me orientar.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 Solo como Recurso Natural.....	16
3.2 Uso e ocupação do solo.....	18
3.7 Manejo da cobertura do solo(C) e Práticas conservacionista (P).....	25
3.8 Geoprocessamento como recurso da análise de uso e ocupação do solo.....	26
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1 Caracterização da área de estudo.....	29
4.2 Procedimentos e Ferramentas utilizados para a pesquisa.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1 Pluviosidade da Microrregião de Chapadinha.....	35
5.2 Fator R de Erosividade da Microrregião de Chapadinha.....	36
5.3 Fator K de Erodibilidade do Solo.....	37
5.4. Fator LS de Erodibilidade.....	40
5.5. Declividade da Microrregião de Chapadinha.....	42
5.6. Uso e cobertura do solo.....	45
5.7. Fator CP de Erodibilidade da Microrregião de Chapadinha.....	46
5.8. Fator A de Erodibilidade da Microrregião de Chapadinha.....	49
6 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da microrregião de Chapadinha-MA	29
Figura 2. Mapa de Precipitação Acumulada da Microrregião de Chapadinha-MA	35
Figura 3. Mapa de Erosividade Fator R da Microrregião de Chapadinha	37
Figura 4. Mapa do Zoneamento das classes de solo na Microrregião de Chapadinha ..	38
Figura 5. Mapa de Erodibilidade Fator K da Microrregião de Chapadinha.....	40
Figura 6. Mapa de Erodibilidade fator LS da Microrregião de Chapadinha.....	42
Figura 7. Mapa de declividade da Microrregião de Chapadinha Erro! Indicador não definido.	
Figura 8. Classes de uso e ocupação do solo da Microrregião de Chapadinha.....	46
Figura 9. Mapa de Erosividade fator CP da Microrregião de Chapadinha	48
Figura 10. Mapa de Erodibilidade Fator A da Microrregião de Chapadinha.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações Metereologicas do INMET.....	30
Tabela 2. Resultados quantitativos Fator R da Microrregião de Chapadinha.....	36
Tabela 3. Solos encontrados na Microrregião de Chapadinha a reclassificação conforme EMBRAPA (1999) com fator K e área.....	39
Tabela 4. Fator LS de Erodibilidade	41
Tabela 5. Distribuição das classes de declividade Microrregião de Chapadinha	43
Tabela 6. Uso e cobertura do solo da Microrregião de Chapadinha.....	45
Tabela 7. Fator CP de Erodibilidade da Microrregião de Chapadinha	47
Tabela 8. Classificação das classes de erosão na Microrregião de Chapadinha.....	49

LISTA DE SIGLAS

DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Nacional de Pesquisas Espaciais
MATOPIBA	Região que se estende por territórios de quatro estados: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MDE	Modelo Digital de Elevação
NDVI	Índice de vegetação Normalizada
PE	Potencial de Erosão
RPS	Razão de Perda de Solo
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangulada Irregular
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USLE	Universal Soil Loss Equation

RESUMO

O presente trabalho refere-se à identificação dos índices de erosividade encontrados na Microrregião de Chapadinha, Maranhão. Com o passar dos anos os fenômenos ligados a perda de solo vem causando prejuízos econômicos e ambientais. Diversos fatores podem contribuir para a perda de solo, alguns deles referem-se a cobertura do solo, a classe de solo, a pluviosidade e declividade do terreno. Para as análises realizadas foi utilizado as ferramentas metodológicas da Equação Universal da Perda de Solo (USLE), sendo importante para a determinação de cada fator, os quais foram trabalhados nos Software Qgis Tisler versão 3.24.2, ambiente ao qual todos os dados foram processados e elaborados. Assim como também foram elaboradas tabelas em ambiente Exel, com as taxas encontradas. Com o auxílio da literatura científica os valores de cada fator foram levados em consideração. Foram utilizadas as bases de dados do Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Mapbiomas, coleção 7.0, Embrapa Solos e Topodata. A microrregião de Chapadinha evidenciou classes de perda de solo de acordo com o fator A, o qual apresentou áreas classificadas como níveis de baixa, há muito alta conforme a classificação da Embrapa solo. Contudo, recomenda-se que para situações em áreas com erosão ou riscos de erosões sejam implementadas práticas conservacionistas que tragam bons desempenhos tanto em áreas produtivas como é o caso da Microrregião de Chapadinha que é caracterizada como grande produtora de soja como em outras partes do estado do Maranhão.

Palavras-chave: Análise de erosão, Geotecnologias, Perda de solo, USLE,

ABSTRACT

The present work refers to the identification of the erosivity indices found in the Microregion of Chapadinha, Maranhão. Over the years, phenomena related to soil loss have been causing economic and environmental damage. Several factors can contribute to soil loss, some of which refer to soil cover, soil class, rainfall and terrain slope. For the analyzes carried out, the methodological tools of the Universal Soil Loss Equation (USLE) were used, being important for the determination of each factor, which were worked in the Qgis Tisler Software version 3.24.2, environment to which all data were processed and elaborate. As well as tables were also prepared in an Exel environment, with the rates found. With the aid of the scientific literature, the values of each factor were taken into account. The databases of the Brazilian Institute of Meteorology (INMET), Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), Mapbiomas, collection 7.0, Embrapa Solos and Topodata were used. The microregion of Chapadinha showed classes of soil loss according to factor A, which presented areas classified as low, very high levels according to Embrapa's soil classification. However, it is recommended that for situations in areas with erosion or erosion risks, conservation practices are implemented that bring good performance both in productive areas, as is the case of the Microregion of Chapadinha, which is characterized as a major producer of soy, as in other parts of the state. from Maranhão.

Keywords: Erosion analysis, Soil loss, USLE, Geotechnologies.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial para o funcionamento dos ecossistemas, nos quais milhares de criaturas diferentes interagem e contribuem para a manutenção da vida na terra, sendo representado por diversos fatores. Nesse entendimento, devido a sua importância e significativa contribuição à biodiversidade global, faz-se necessário preservar sua integridade dentro dos ecossistemas (SILVA et al., 2021).

Para Sousa e Paula (2019), um dos principais agentes contribuintes na degradação do solo é a erosão, tanto no que diz respeito a fatores naturais, onde o processo ocorre de forma mais lenta, como por ação antrópica que acontece de forma mais acelerada, isso influencia no relevo natural e principalmente na cobertura do solo. Alguns desses agentes erosivos são bastante intensificados nas regiões semiáridas, pois possuem características morfoestruturais e pedológicas quanto pelo regime hidrológico e a consequente escassez hídrica. O Brasil é um dos países que apresentam as maiores erosividades do mundo, sendo a região amazônica o local com os valores mais altos observados (PASCOTO, 2020).

É de fundamental importância a quantificação das perdas de solo por erosão hídrica em áreas agrícolas. Nesse sentido, a utilização de métodos indiretos através de modelos estatísticos auxilia no entendimento e na quantificação dessas perdas ao longo dos anos. Um desses modelos bastante utilizados é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), também conhecida como *Universal Soil Loss Equation* (USLE). É um método de ótima precisão que leva em consideração a precipitação pluvial do local, o tipo de solo, a topografia do terreno, o sistema de cultivo e as práticas de gestão (ALVES, 2000; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008; JARDIM, et al., 2020).

À medida que os recursos naturais vão diminuindo deve-se pensar na sua conservação, o solo é um dos recursos naturais mais explorado, e assim como observado por Haregeweyn et al. (2017), o mapeamento e monitoramento de áreas que apresentam suscetibilidade a erosão são de extrema importância para a tomada de decisão, recomendando técnicas que possibilitem um manejo mais consciente.

As perdas anuais de solo, sofridas pelas áreas agrícolas no Brasil, atingem valores da ordem de 500 milhões de toneladas de terra e, conseqüentemente, há perda de cerca de 8 milhões de toneladas de nitrogênio, fósforo e potássio, nutrientes fornecidos às lavouras para o aumento da produção. Assim, as perdas resultam no aumento do custo de produção,

causando impacto direto na economia (SBCS, 2015). De acordo com o levantamento do IBGE (2017) do perfil dos municípios brasileiros, entre os anos de 2014 e 2017, 19,6% dos municípios brasileiros foram atingidos por processos erosivos acelerados, sendo a Região Sul com a maior concentração desses municípios (24,5%) e a Região Nordeste com a menor concentração (14,2%).

Nos últimos anos, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornaram-se ferramentas úteis para o gerenciamento de recursos naturais, facilitando a aplicação do método USLE em várias escalas, pois permitem a manipulação de dados de diversas fontes, de maneira fácil e eficiente, integrando-os em uma única base de dados (EL JAZOULI et al., 2017; PHAM et al., 2018; SILVA et al., 2017; GOTTSTEIN, JUNIOR e ARANTES, 2019). De acordo com Souza et al., (2019), a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e do geoprocessamento para a realização de análise de sistemas ambientais corroboram para estimar a perda de solo de uma área de interesse, fornecendo bases para favorecimento de zoneamento ambiental e com isso uma melhor gestão e planejamento ambiental.

A realização do mapeamento da distribuição espacial e a perda de solo, identificam a erosão como o agente principal, e auxiliam no planejamento de técnicas de manejo e conservação do solo, principalmente em solos com atividades intensivas como a agricultura e pecuária. Diante de tal necessidade, o presente estudo visa apresentar uma estimativa da perda do solo na microrregião de chapadinha, identificando os índices de erosão utilizando o método da USLE, com auxílio de ferramentas de geoprocessamento visando a indicação de práticas de uso, manejo e conservação do solo na Microrregião de Chapadinha.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estimar os índices de erodibilidade dos solos, identificando as áreas com maior susceptibilidade a ocorrência dos processos erosivos na microrregião de Chapadinha por meio da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a variabilidade espacial da erosividade na região de estudo;
- Identificar os agentes contribuintes para o potencial de erosividade;
- Calcular o fator de erodibilidade dos solos para os solos existentes;
- Determinar as perdas de solo utilizando a USLE para a microrregião de Chapadinha considerando o uso e ocupação do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Solo como Recurso Natural

O solo é recurso natural finito que presta importantes serviços ecossistêmicos para as sociedades, como a produção de alimento e purificação da água. É formado por minerais, matéria orgânica, água e ar. Fundamental para a manutenção dos ecossistemas terrestres. Devido a sua importância, o ensino do solo deve fornecer uma base teórica e prática que permita ao educando compreender seus processos de origem, funções e propriedades, buscando promover uma conscientização ambiental acerca da importância da conservação do solo para gerações presentes e futuras. Experimentos com as características morfológicas do solo se mostram como importante recurso didático para o ensino do solo na Educação Básica (CAMPOS et al., 2020).

De acordo com Givanini Junior (2019), podem ocorrer mudanças bastante significativas em razão dos processos naturais ou por meio de atividades antrópicas que comprometem a qualidade do solo, os efeitos desses processos impactam na estabilidade biótica e abiótica do sistema, podendo comprometer uma bacia hidrográfica inteira. Um dos fatores que contribuem para a causa da degradação do solo é a erosão dos solos, pois é um processo no qual ocorre a remoção através do transporte de partículas do solo, e o

principal agente de transporte é a água proveniente das chuvas, que podem trazer consequências prejudiciais para o ambiente.

As alterações promovidas por ações antrópicas em ecossistemas localizados em habitats urbanos vêm gerando a destruição de áreas com grande importância ambiental, como o que ocorre em pequenas bacias hidrográficas que vem sofrendo como consequência constantes episódios de enchentes (DAMAME et al., 2019).

Carvalho (2019), menciona que a preocupação com o solo de um ambiente é um assunto que vem tomando grandes proporções com o passar dos anos, principalmente para a comunidade científica, que colaboram com estudos visando contribuir na tomada de decisões, o autor ainda destaca que a influência da erosão acelerada por ação antrópica é um fator que está diretamente ligado a uma gama de problemas ambientais, interferindo na produção agrícola em especial na produção de alimentos, assoreamento de rios, deslizamento de solos comprometidos e desertificação de áreas, entre outros problemas.

Para Pinto (2014), as atividades agropecuárias são ações de caráter antrópico que estão relacionados com alguns dos processos de erosão do solo, impactando de forma negativa, o tipo de manejo empregado nessas atividades tanto pode beneficiar com a obtenção de uma maior produtividade como também influenciar de forma negativa nos atributos do solo, promovendo um desequilíbrio, portanto é imprescindível o uso sustentável do solo, sendo importante o monitoramento que vise uma estabilidade de um recurso de extrema significância para o ser humano.

O uso e a ocupação dos solos exercem influência marcante no escoamento superficial e aporte de sedimentos no leito dos mananciais, podendo alterar a qualidade e a disponibilidade da água (VANZELA et al., 2010). Portis, Santos e Nunes (2020), enxergam a dinâmica das alterações nos padrões de uso e ocupação do solo como fatores de extrema relevância e que estão associados com o planejamento de áreas urbanas, que podem ser facilmente visualizados por meio de imagens orbitais de sensoriamento remoto. Essas imagens veem sendo bastante utilizadas por meio de ferramentas que contribuem para o monitoramento de atividades antrópicas de uso do solo.

3.2 Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo é um fator preponderante para a atenuação ou intensificação de processos erosivos, já que áreas que possuem uma cobertura do solo adequada apresentam menor potencial para a produção de sedimentos (SANTOS e QUEIR, 2021). A quantificação e a espacialização da perda de solo para uma bacia hidrográfica são imprescindíveis para que seja realizado o planejamento, que servirá de base para as tomadas de decisões envolvendo o uso e ocupação do solo por atividades agrícolas (SEGEDI, 2019).

De acordo com Portis, Santos e Nunes (2020), a definição de uso e ocupação é tida como a distribuição espacial de diferentes funções sociais de cidade, destacando-se o uso residencial, industrial, comercial, de serviços, de lazer e institucional. Ainda segundo esses autores essa distribuição determina a localização das atividades humanas, onde mora, trabalha, onde produz alimentos, onde estuda, e entre outros. Relacionando-se também com a infraestrutura de transportes que está ligado as interações espaciais que correspondem as atividades mencionadas, propiciando acessibilidade e determinam localizações de determinados empreendimentos em uma sociedade.

A exploração desordenada dos recursos naturais para Oliveira, Acorsi e Smaniotto (2018), contribui para o uso inadequado dos solos, que está diretamente ligado ao uso intensivo de fertilizantes, corretivos e fertilizantes que aumentam os índices de problemas ambientais, tornando esse um outro fator que compromete a qualidade tanto do solo como dos recursos hídricos dentro de uma microbacia hidrográfica. Em um dos estudos de XAVIER et al. (2021), explanam que a degradação do solo decorre de processos físicos e químicos, e que as atividades humanas corroboram para a aceleração do desgaste do solo. Portanto para que se estabeleça como ocorre a distribuição de uma área deve-se observar algumas classes de uso do solo.

Um problema comum a muitos municípios brasileiros é a presença de erosão do solo, o que pode levar a perdas materiais e até de vidas. O principal fator interveniente nesse fenômeno é a maior ou menor resistência do solo a ação das águas que resulta na erodibilidade, definido como um atributo do solo que representa sua vulnerabilidade à remoção de partículas. Vários modelos matemáticos têm sido elaborados e desenvolvidos para estimar o potencial a erosão do solo em diferentes escalas espaciais e temporais (GUEDES et al., 2022).

E para estabelecer as classes de vulnerabilidade para os diferentes tipos de uso do solo leva-se em consideração a relação de proteção oferecida ao solo, em função da densidade da cobertura vegetal. Tendo como pressuposto que a densidade e o tipo da cobertura representam uma forma de defesa contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo, incluindo a proteção dos solos. Ao mesmo tempo que a intervenção antrópica e os tipos de uso e ocupação sem controle potencializam os efeitos dos processos morfogenéticos (RODRIGUES, TOMMASELLI, e JUNIOR, 2018).

Para Sobral et al. (2018), o mapeamento de uso e ocupação do solo podem ter influência significativa sobre os recursos hídricos, pois é um instrumento crucial para o planejamento e administração da ocupação do meio físico, permitindo o monitoramento do mesmo, e com isso possibilitando a conservação dos recursos naturais. O aumento populacional também é outro fator que causou o crescimento da agricultura e com isso problemas atrelados ao manejo do solo, práticas intensivas comprometem a qualidade do solo podendo resultar até mesmo na perda de solo.

3.3. Fatores de Erosividade

A erosão é um ciclo natural que envolve a desagregação, o transporte e a disposição de sedimentos do solo, subsolo e rocha em decomposição. O estudo da erosão a divide em dois grandes grupos: erosão geológica e erosão acelerada. A primeira envolve processos lentos e gradativos naturais do meio, os quais modelam e constroem as formas de relevo existentes. A segunda ocorre devido à ação humana, que acelera o processo e, como consequência, a região não consegue se adaptar à rápida transformação do meio, resultando em uma acelerada destruição ou danificação dos solos (PASCOTO, 2020).

Para Souza (2021) a erosão se configura como um processo natural que pode ser maximizada quando associada a atividades humanas, tornando a erosão hídrica é uma das principais responsáveis pela degradação do solo, embora por outro lado através da adoção de algumas técnicas esse processo de degradação do solo pode minimizar, com a aplicação de práticas edáficas, vegetativas e mecânicas. De acordo com Carvalho (2019), a degradação das partículas do solo e o arraste desse material está conectado com diversos tipos de processos erosivos que tem como agentes causadores a água, geleiras, vento e até mesmo os animais e as plantas.

A erosão presente em certo local a princípio pode não parecer como algo severo, porém antes do processo ser notável já houve a diminuição das qualidades de plantio do

solo, devido a redução dos nutrientes levados pelo processo de lixiviação, e, caso nenhuma medida for tomada, o processo irá se agravar trazendo maiores transtornos, sendo entre os principais: redução expressiva da fertilidade local do solo, assoreamento de cursos d'água, diminuição da área útil cultivável, mudanças paisagísticas e comprometimento da infraestrutura rural (GIOVANINI JUNIOR, 2019).

Segundo Rodrigues, Tommaselli e Junior (2018), o grau de estabilidade ou vulnerabilidade à erosão de cada área é formado de acordo a contribuição dos processos de morfogênese e pedogênese do solo analisado. As propriedades físicas e as características químicas, biológicas e mineralógicas do solo exercem diferentes influências na erosão, atribuindo a cada solo uma resistência ou susceptibilidade a este processo, representada pelo fator K. Portanto, todas as características do solo avaliadas conjuntamente determinam sua capacidade de propiciar erosão, sendo necessário definir valores diferentes de K para cada tipo de solo (BERTONI et al., 2014; EL JAZOULI et al., 2017, GOTTSTEIN, JUNIOR e ARANTES, 2019).

Existem vários fatores que influenciam na intensidade do processo erosivo, dentre eles estão as chuvas, as características físico-químicas do solo, a topografia do terreno, e o uso e a cobertura vegetal do solo. A erosão do solo, portanto, é um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitude variáveis, conforme o local de ocorrência (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; CARVALHO et al., 2006; Silva, 2021).

A dinâmica do uso do solo dos cenários de 2000 e 2020 mostrou uma redução da área de pastagem (embora ainda predominante), o aumento das áreas de mata, o surgimento das áreas urbanas e a expansão da silvicultura. Entretanto, mesmo com estas alterações nas classes de uso, de acordo com Potencial de Erosão (PE), o solo exposto continuou sendo a classe mais suscetível (PE ~ 12%) (DANIEL, VIEIRA e MARTINS, 2021).

A associação feita por Sousa e Paula (2019), relaciona a erodibilidade do solo aos seus fatores de formação e principalmente com características tais como estrutura, textura, densidade e permeabilidade. Até mesmo o tamanho das partículas do solo exerce influência no transporte. Um bom exemplo dessa influência são os solos arenosos que possuem grandes teores de porosidade entre suas partículas, essa característica diminui a possibilidade de escoamento superficial. Outro exemplo são os argissolos que possuem as partículas muito coesas o que contribui para um maior escoamento superficial, ocasionando o aumento de volume de material transportado pela ação da água.

3.4 Processos erosivos

A erosão do solo é um processo no qual há remoção da camada superficial do solo. Entre as principais formas, a erosão hídrica provoca elevado desgaste do solo, em virtude de alguns fatores, como as precipitações pluviométricas e o uso e a ocupação desordenada das terras (FIORESE et al., 2021). Este processo é acelerado pelo homem com a intensificação das técnicas de manejo rural, com o intuito de aumentar a produtividade. Tal fato tem mudado severamente a paisagem, marcada por alguma degradação ambiental. (PINESE JUNIOR; CRUZ e RODRIGUES, 2008).

Segundo Carvalho (2019), os processos erosivos podem ocorrer em diferentes configurações, como por meio de erosão laminar, sulcos, ravinas ou em casos mais severos como voçorocas. Sendo um fenômeno que é constituído de diversas causas, tanto de caráter natural como antrópico, quando envolve fatores naturais está relacionado com a pluviosidade, relevo, clima entre outros, já quando diz respeito ao fator antrópico está atrelado com a ocupação e uso do solo e principalmente ao manejo empregado.

A ocorrência de processos erosivos de forma acelerada em decorrência da interferência antrópica na dinâmica hidrológica, principalmente na infiltração e no escoamento, pode ocasionar graves problemas socioambientais, tais como: perda de solos agricultáveis; assoreamento de rios e reservatórios; rebaixamento do nível freático e desaparecimento de nascentes; prejuízos com perda de infraestrutura urbana; risco de desabamento de casas, entre outros (FRANÇA et al., 2020).

Os problemas decorrentes dos processos erosivos são intensificados nas regiões semiáridas, tanto pelas suas características morfoestruturais e pedológicas quanto pelo regime hidrológico e a conseqüente escassez hídrica, que tornam as atividades econômicas, como a agropecuária, potencialmente impactantes (SOUSA e PAULA, 2019).

De acordo com dados do Ministério do Meio ambiente (2016), os processos erosivos podem ter influências das ações antrópicas. O grau e a abrangência com que esses processos erosivos podem ocorrer de acordo com algumas condições naturais, dependendo de fatores como declividade e a vulnerabilidade terreno, tipos de solos e sua associação com os volumes das águas de chuva, como infiltração e escoamento superficial.

Avaliar as perdas de solo e água por erosão em nível de campo em áreas de encosta ou com predomínio de solos frágeis é essencial devido a importância econômica e ambiental que estes ambientes apresentam. Assim, esforços precisam ser convergidos para caracterização do processo erosivo nestas áreas que podem vir a subsidiar estudos futuros mais aprofundados (MOURA-BUENO et al., 2018).

3.5. Aplicação do Método Empírico da Equação Universal da perda de solo (USLE)

Modelos como a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) são utilizados para estimativas de perda de solo. Na análise da USLE, o fator R de erosividade da chuva é de importante determinação, pois é o mais afetado pela variabilidade climática (MARTINS et al., 2020). A Equação Universal de Perda de Solo – USLE (WISCHMEIER et al., 1978) é o método que permite estimar a erosão com base no padrão de precipitação, tipo de solo, topografia, condições de uso e cobertura do solo e práticas de manejo.

A Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation – USLE*) destaca-se por ser um dos modelos mais utilizados no estudo da erosão hídrica. Foi desenvolvida nos EUA a partir da análise do escoamento superficial em mais de 10.000 áreas experimentais, sob condições diversas de parâmetros hidroclimáticos (precipitação, evaporação, drenagem e outros), ambientais (geologia, solos e vegetação) e antrópicos (formas de cultivo e ocupação). Ao longo das últimas décadas, a USLE já foi revisada e adaptada às diferentes realidades e, com o uso de novas tecnologias, tem sido amplamente implementada em estudos de bacias hidrográficas (ÍRVEM; TOPALOGLU e UYGUR, 2007).

Segundo Wischmeier e Smith (1978), a USLE é capaz de realizar previsão de erosão, com base em análises quantitativas/qualitativas, sendo fundamental para o planejamento e conservação dos solos. Mesmo com a existência de outros modelos de análise de perda de solo que foram desenvolvidos com graus de complexidade maiores a USLE apresenta uma melhor aplicabilidade, pois disponibiliza uma quantidade de informações e pesquisas prévias na área específica que contribuem para a realização de análises mais detalhadas. A predição da perda de solo está associada a mitigação do assoreamento de cursos hídricos e dos custos com o tratamento de água, uma vez que são relacionados aos benefícios gerados pela reposição florestal e manejo adequado dos solos (PEREIRA, 2014).

Ao considerar constantes os fatores que interferem na perda de solo, à exceção das chuvas, diversos foram os trabalhos que observaram que as perdas de solos são proporcionais ao produto da energia cinética total e à intensidade máxima da chuva. Isso significa que a capacidade da chuva de proporcionar a desagregação das partículas de solo é diretamente proporcional ao tamanho das gotas, bem como à intensidade de precipitação (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

Quantificar a perda de solo se torna extremamente importante para o planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica, sendo uma excelente ferramenta de subsídio para o manejo sobre o uso do solo e a gestão dos recursos ambientais. Assim, a USLE permitiu identificar áreas com perda pronunciada de solo, com base nos dados reais, determinando os locais de maior susceptibilidade a este dano e, conseqüentemente, destacando as áreas onde devem ser reforçadas as práticas conservacionistas e o manejo adequado, devido a fragilidade específica do local, demonstrando como cada fator influencia na redução das perdas (GOTTSTEIN, JUNIOR e ARANTES, 2019).

A integração de do método da USLE com um SIG segundo Rocha e Magri (2022), se demonstrou uma ferramenta de extrema eficácia para avaliar e quantificar fatores como a vulnerabilidade à erosão do solo de uma área de uma bacia hidrográfica.

3.6. Perdas de solo na região do Cerrado

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma do Brasil. Ocupa uma área contínua de cerca de dois milhões de km², que corresponde à aproximadamente 25% do território nacional, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal e partes de São Paulo, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Bahia, ele é constituído por um mosaico vegetacional composto por formações campestres (campos limpo, sujo e rupestre), formações savânicas (Cerrado sensu stricto, Cerrado denso, Cerrado ralo e Cerrado rupestre) e florestais com cerradão, matas de galeria, ciliares e secas (SANO, ALMEIDA e RIBEIRO 2008).

Os avanços tecnológicos observados nos últimos anos causaram intensas mudanças ambientais, principalmente pelas transformações nas características de cobertura da terra, a exemplo o avanço agrícola sobre os cerrados, bioma de aproximadamente 2.000.000 de km², que a partir do anos de 1970 passaram a integrar o polo de desenvolvimento de produção de commodities associadas a políticas Estaduais e de financiamento privado, fator este que promoveu aceleradas conversões dos padrões de

cobertura da terra, principalmente pela substituição da cobertura vegetal por sistemas agrícolas, demanda por carvão vegetal para a indústria siderúrgica, resultando em significativas perdas de biodiversidade (ARAÚJO et al., 2019).

Em um trabalho de Bezerra, Luz e Pinheiro (2019), eles observaram que a região Leste maranhense vem sendo utilizada desde meados do século XIX para o escoamento e exploração da agricultura mercantil, com grande influência na produção e cultivo de arroz, milho e outras culturas. Pereira e colaboradores (2018), também observou que a região do Cerrado nordestino apresentou no decorrer dos últimos 20 anos uma imensa expansão no setor agrícola, gerando uma fronteira agrícola de muita influência no país (MATOPIBA) de aproximadamente mais de 73 milhões de hectares, tendo em vista esse crescimento das atividades agrícolas, houve também degradação do solo nessa região. E avanço também dos processos erosivos e degradação de propriedades importantes na manutenção da fertilidade do solo (PINTO, 2014).

O solo predominante no cerrado é originado de espessas camadas de sedimentos que datam do Terciário. São solos profundos, sazoados, de cor vermelha ou vermelha amarelada, porosos, permeáveis, bem drenados e devido a isto são intensamente lixiviados. A textura predominante é a fração areia, argila e por último o silte, arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos com capacidade de retenção de água é relativamente baixa (CUNHA et al. 2001; COUTINHO 2000; XAVIER et al., 2021).

As elevadas intensidades das precipitações pluviométricas no Nordeste brasileiro, aliadas às diversas fragilidades ambientais originárias, principalmente a irregularidade hídrica, têm ocasionado processos com resultados cada vez mais efetivos de perda de solos das bacias hidrográficas e de altas taxas de escoamento superficial (SOUSA, 2018).

Realizando uma associação da variabilidade geoespacializada e criando cartas dos índices erosivos e da pluviometria mensal e anual de uma região França e Araujo (2020), consideram que se pode aplicar a USLE para medir a perda de solo na região do cerrado, contribuindo assim com o planejamento e gestão em escala regional, para minimizar os processos erosivos.

A análise e quantificação da perda de solos e produção de sedimentos são de extrema importância, em função da necessidade de planejamento do manejo do solo, bem como da prevenção de futuros problemas ambientais, hidráulicos e de uso e ocupação do solo. No entanto, medir e contabilizar as perdas de solo são tarefas dispendiosas, causando uma carência de dados importante (MARTINS et al., 2020).

Para Guedes e et al. (2022), conhecer as condições dos solos de uma região é crucial para se realizar o mapeamento e a identificação dos processos erosivos que estão atuando sobre a região de interesse, conhecer o potencial de cada solo contribui para a tomada de decisão da melhor forma de manejo que se deve empregar.

3.7 Manejo da cobertura do solo(C) e Práticas conservacionista (P)

O Solo é um recurso natural finito, que exerce inúmeras funções no ambiente, sendo fundamental para a vida na Terra, porém, muitas vezes, o seu valor não é reconhecido (SAMPAIO, 2022). Martins e Fernandes (2017), também enxergam o solo como um recurso de caráter limitado, afirmando que são necessários séculos para sua formação, em retrospecto sua degradação pode acontecer em poucos meses quando não executado manejo adequado.

Juntamente com a água e o ar, o solo é uma substância primordial para a manutenção da vida. Ele é fundamental para biodiversidade da sua biota, na infiltração e controle de escoamento da água, e na disponibilidade de sustentação e nutrição para plantas. A espécie humana, por fazer parte da natureza, precisa de um solo de boa qualidade para prover água e alimentos, de forma direta ou indireta (CORRÊA, 2016).

Para Franco e Souza (2021), os impactos ambientais decorrentes do mal uso de um recurso natural como o solo tem incentivado muitos pesquisadores a realizarem mais estudos para essa área fomentando a importância de se contribuir com conhecimento e promover o uso consciente e conservador do solo. Os processos erosivos têm sido assunto de grande preocupação, atentando sobre os recorrentes estudos acerca de toneladas de perdas de solos agricultáveis durante o ano e demonstrando as inúmeras formas erosivas, que em alguns locais acabaram se tornando corriqueiras. As perdas são significativas e muitas das vezes, as consequências são irreparáveis, sendo que práticas conservacionistas de manejo adequadas seriam fundamentais para evitar a improdutividade futura de solos (SILVA e LUCHIARI, 2016).

De acordo com Pascoto (2020), estudar os fatores que influenciam nos processos de erosivos contribui para a prevenção e controle desses fatores se torna uma das formas fundamentais para desacelerar a erosão. Nesse contexto, é importante que se implemente práticas de conservação para que o processo erosivo seja minimizado, e previna futuros desastres, como deslizamentos de terra, (SILVA, 2021).

Portanto, identificar as áreas com maior potencial erosivo também pode favorecer ações pontuais de educação ambiental nas comunidades, uma vez que o baixo índice de desenvolvimento humano é muito acentuado nas áreas contempladas neste estudo, fazendo-se necessária a adoção de estratégias que visem a conservação e preservação destas áreas (BATISTA et al., 2021),

O conhecimento do potencial de erosão do solo é importante à compreensão dos problemas ambientais, pois permite identificar as práticas que mais contribuem para a preservação/conservação dos solos. Assim, uma análise quantitativa dos processos físicos ou mecânicos, consorciados com uma caracterização qualitativa dos arranjos produtivos locais, pode levar à consolidação de estratégias racionais de uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas semiáridas (CHORLEY e HAGGETT, 1967). Campos et al. (2020) afirmam que há uma necessidade de se realizar ações que promovam a educação ambiental, permitindo a implantação de uma consciência ambiental que vise a conservação do solo, contribuindo com conhecimento pedológico, criando formação crítica e que reflita tanto na conscientização ambiental de caráter individual e coletiva, incentivando com práticas alternativas para restaurar a qualidade do solo.

Instaurar pastagem natural ou plantada também são alternativas viáveis. Para tanto, a adubação química deve fazer parte do planejamento, onde devem ser considerados os custos e os benefícios desta atividade ao longo do tempo. Sua função é recompor os nutrientes perdidos pelo solo através de processos erosivos ou ainda de recuperação de solos inaptos para o cultivo. A manutenção da fertilidade é importante, pois proporciona melhor cobertura vegetal no terreno e conseqüente proteção do solo (XAVIER et al., 2021).

3.8 Geoprocessamento como recurso da análise de uso e ocupação do solo

O monitoramento do uso e ocupação do solo, integrado a modelagem torna-se peça fundamental na análise dos processos de mudanças ambientais devido à degradação dos solos e da vegetação natural. Esse monitoramento pode ser facilitado com a utilização de Geotecnologias, como o Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG). Através do grande acervo de imagens de satélite disponíveis associadas ao processamento do SIG, os estudos das mudanças no uso e ocupação no uso e ocupação do solo se tornaram mais eficientes, permitindo uma melhor análise espacial

e o cruzamento de informações, auxiliando na modelagem hidrossedimentológica (SILVA, 2010).

O mapeamento detalhado do processo erosivo e a caracterização da extensão e da magnitude das taxas anuais e sazonais de erosão do solo em escala regional se tornam ferramenta imprescindível para a definição de práticas conservacionistas (BESKOW et al., 2009). Assim, o mapeamento da vulnerabilidade aos processos erosivos permite diagnosticar a possibilidade de ocorrência de problemas ambientais em uma determinada área, ao representar a maior ou menor susceptibilidade que o ambiente pode estar sendo submetido, indicando as áreas mais propensas à atuação destes processos (RODRIGUES, TOMMASELLI e JUNIOR, 2018).

A aplicação da USLE de Wischmeier e Smith (1978) associada ao uso de um Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem especializar as variáveis que contribuem no processo de erosão laminar e com isso integrar respostas tanto da ação natural dos processos erosivos como os que acontecem de forma acelerada pela ação do homem. A identificação das feições erosivas segue os seguintes critérios: sombreamento, solo exposto, entalhamento do relevo, fissuras no solo e declividade acentuada (DANIEL, VIEIRA, e MARTINS, 2021).

Para Silva (2021), a elaboração de mapas de perda de solo anual de uma bacia, com base em dados coletados a campo é possível detectar onde são as áreas com a forte presença dos processos erosivos e o manejo empregado no solo, com o uso da USLE pode-se estimar e fornecer parâmetros para planejamento do uso e ocupação, com ferramentas de geoprocessamento há a possibilidade de se manipular, cruzar e especializar mais rapidamente os dados da área de estudo de interesse.

As análises da dinâmica de alterações no território para o planejamento urbano contam com os avanços tecnológicos nas áreas espaciais, principalmente na área de sensoriamento remoto. Na literatura específica, cada vez mais as pesquisas se valem de geotecnologias para análise em ambientes urbanos (HAAS et al., 2018; MUSHOREA et al., 2017; AMANI-BENI et al., 2018; ZHOU et al., 2019; PORTIS, SANTOS e NUNES, 2020). Carvalho (2019), usou a modelagem de dados em um dos seus estudos, onde observou que houve facilidade e na manipulação dos dados para análises espaciais dos processos erosivos.

Os SIG foram idealizados e desenvolvidos como uma tecnologia voltada para a gestão da informação que faz uso de entidades distribuídas geograficamente em grandes extensões territoriais, podendo ser caracterizados como ferramentas capazes de tratar a

informação em todo o seu ciclo de vida, sendo fundamentais na gestão ambiental e no manejo dos recursos naturais (MACEDO et al., 2018; FITZ, 2020; AMARAL et al., 2021; OLIVEIRA, 2022).

Segundo Batista et al. (2021), o uso de modelos matemáticos de predição de perda de solo em áreas suscetíveis a erosão principalmente, a degradação de solo e assoreamento de rios e reservatórios de água, em conjunto com o geoprocessamento contribui para a identificação e indicação de medidas que possam minimizar esse tipo de degradação do solo.

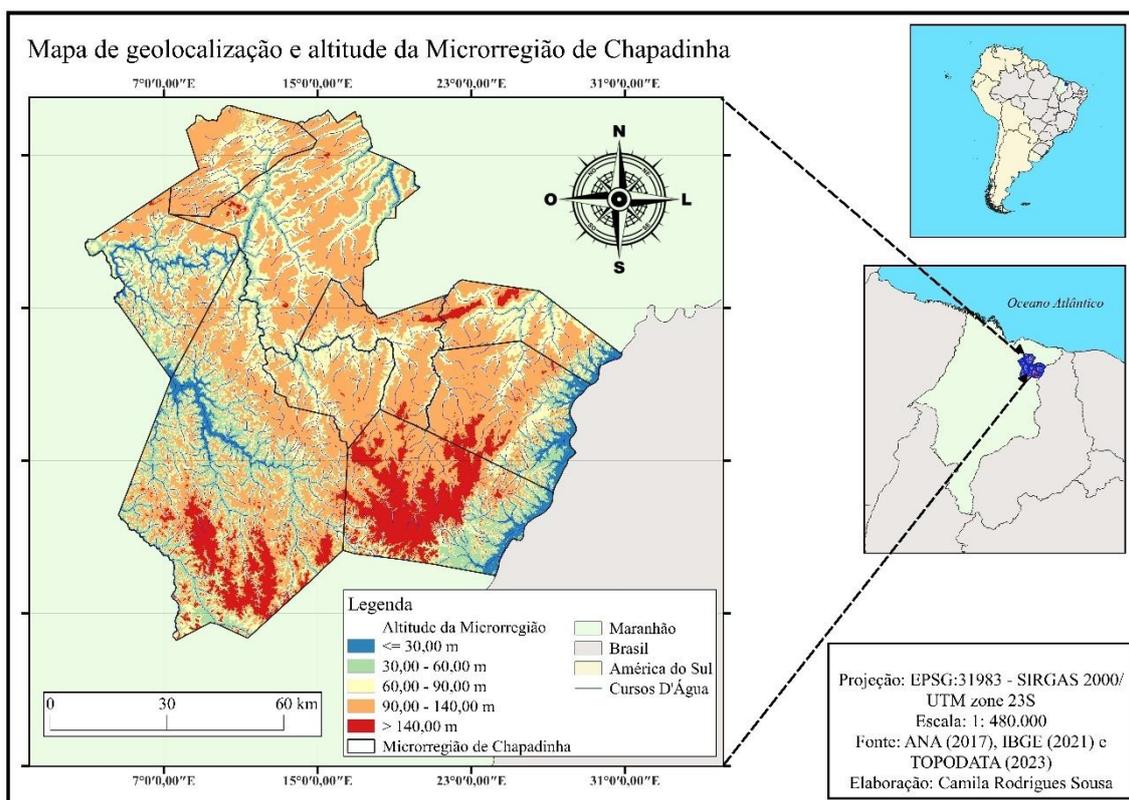
O uso de tecnologias de geoprocessamento tem contribuído de modo excelente na aquisição de dados que podem ser utilizados nas modelagens de mapas de erosão do solo. Junior et al. (2022) demonstram que se deve dar importância a estudos de métodos que visam avaliar os processos erosivos, identificando as áreas de suscetibilidade de ocorrência por meio de imagens de satélites. Ao identificar quais lugares são mais suscetíveis, o nível de sua fragilidade e a causa, medidas podem ser tomadas para prevenir o aparecimento de novas erosões, conter ou mitigar (PEREIRA e CABRAL 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O Maranhão é dividido em cinco mesorregiões e 21 microrregiões, dentre essas, a microrregião de Chapadinha, que se localiza na parte nordeste do Maranhão (mesorregião do leste maranhense). Seu território compreende 10.794 km² de extensão, ocupa 3% da área total do estado e é composta por nove municípios: Anapurus, Brejo, Buritis, Belágua, Chapadinha, Mata Roma, Milagres do Maranhão, São Benedito do Rio Preto e Urbano Santos (Figura 1), os quais possuem uma população de 234.334 habitantes, 3% do estado (IBGE, 2020).

Figura 1. Mapa de localização da microrregião de Chapadinha-MA



Fonte: Autora, 2023.

4.2 Procedimentos e Ferramentas utilizados para a pesquisa

Inicialmente foi empregado o referencial teórico a fim de aplicar métodos que amplificassem as práticas necessárias a realização da pesquisa. Conforme Pimenta (2022) o referencial bibliográfico é o caminho para a boa escrita e interação do meio científico com o estudante.

No desenvolvimento prático do trabalho foi utilizado para o estudo das erosões uma das principais ferramentas para adição do conhecimento do potencial de erosão a aplicação do modelo quantitativo da USLE, de Wischmeier e Smith (1978), é indicado para estimar as perdas de solo, e para determinar índices de erosão laminar.

A estimativa da perda de solo anual por meio da EUPS é baseada na multiplicação de seis fatores:

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

Onde: A = perda de solo calculada por unidade de área (t/ha.ano);

R = índice de erosão pela chuva ou erosividade (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹);

K = fator de erodibilidade do solo (t. h/Mj.mm);

L = comprimento do declive (adimensional);

S = grau de declive (adimensional);

C = fator de uso e cobertura do solo (adimensional);

P = fator referente às práticas conservacionistas de controle de erosão (adimensional).

O fator R, erosividade, expresso por um índice numérico, indica a capacidade da chuva de causar erosão em áreas sem nenhuma proteção, relacionado aos efeitos do impacto, do salpico e da turbulência combinados com a enxurrada e o transporte das partículas (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2013; GAMA, 2004;).

$$R_x = 68,73 \times \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0,841}$$

Onde:

R_x = É o fator R para o mês x. (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹);

M_x = É a média mensal de precipitação para o mês x (mm);

P = É a média anual de precipitação (mm).

Para a elaboração do fator R e mapa de Pluviosidade foram considerados os dados de estações meteorológicas distribuídas geoespacialmente no estado do Maranhão (Tabela 1) para a interpolação dos dados com base nas coordenadas geográficas. Foram adquiridos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Tabela 1. Estações Meteorológicas do INMET

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE
Alto Parnaíba	-9,108	-45,949
Bacabal	-4,218	-44,776
Balsas	-7,529	-46,046
Barra do Corda	-5,506	-45,237
Carolina	-7,337	-47,46
Caxias	-4,867	-43,357
Chapadinha	-3,743	-43,352
Colinas	-6,033	-44,233
Grajaú	-5,8	-46,45
Imperatriz	-5,536	-47,479
São Luís	-2,527	-44,214
Turialvo	-1,661	-45,372
Zé Doca	-3,269	-45,651

Fonte: Autora, 2023.

A série temporal considerou a média de chuvas mensais por um período de 30 anos, de 1976 a 2021 dos municípios do estado do Maranhão, foi utilizado a de Chapadinha para todos os municípios que compõe a região e foram interpolados no Qgis 3.24.2.

O fator K representa a suscetibilidade de um solo à erosão e pode ser obtido por meio da equação proposta por Williams (1975), que leva em consideração as frações de areia grossa, areia fina, silte, argila e carbono orgânico presentes no solo (SANTOS E QUEIR 2021).

As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são aquelas que: (a) afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água e (b) resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento. Portanto, esse fator depende das características intrínsecas do solo e de fatores subsidiários, como ciclos de umedecimento e secagem, além da composição química da água nele presente (WISCHMEIER e SMITH, 1978; VILAR e PRANDI, 1993).

O fator topográfico é constituído pelo comprimento de rampa (L) e a declividade (S). O comprimento de rampa é a distância entre o ponto de início do escoamento até o ponto onde o declive decresce, permitindo o início da deposição, ou onde a água encontra um canal bem definido. O Fator L, que é adimensional, adota o comprimento de rampa medido em metros, sem a unidade. O Fator S é caracterizado como o ângulo ou o índice de inclinação do terreno. O uso de métodos computacionais, a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT), permite obter esses fatores da EUPS (SANTOS E QUEIR 2021).

O fator C para determinada cultura, representa o efeito da cobertura e manejo do solo e é determinado na USLE por meio do produto da Razão de Perda de Solo (RPS) pela fração do índice de erosividade anual (FEI30) referente ao ciclo da cultura em estudo (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Metodologias para obtenção do Fator C são escassas, assim, valores da literatura são utilizados no cálculo de perda de solo, assumindo valor único para toda a classe de uso e cobertura. Essa prática não representa a realidade, pois existem outras formas de determinar esse fator, como por exemplo usando sensoriamento remoto. Apesar da equação da USLE ser amplamente usada, no Brasil poucos estudos têm investigado a influência das formas de obtenção do fator C no resultado de perda de solo.

O fator P se refere às práticas de conservação, adimensional conforme Miguel et al. (2021). Incluso nos exemplos do fator P podem ser citadas as práticas de plantação em faixa segundo as curvas de nível, rotação de culturas, terraços, entre outros (SEGEDI, 2019).

Os valores de CP foram adquiridos por meio dos resultados encontrados nas classes de uso e ocupação solo, adquiridos por meio da plataforma MapBiomas, coleção 7.0 referente ao ano de 2021. Os valores foram ajustados e considerados conforme a literatura e foram processados *software* Qgis. Ainda considerando os dados do MapBiomas para análise temporal do uso e ocupação do solo da região.

Para toda a análise dos fatores empregados foi utilizada a ferramenta SIG Qgis Tisler versão 3.24.2, de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU (QGIS, 2020). Para o processo de identificação das áreas de risco de erosão do tipo movimento de massa de solo foram utilizados os dados do projeto TOPODATA-Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esta informação de declividade pode ser encontrada estruturada em quadrículas no formato GeoTiff (*raster*), com pixel de resolução de 30 por 30 m e expressos em porcentagem (%). Os dados foram gerados a

partir do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (INPE, 2020).

Por meio do MDE da área estudada, foi gerado o mapa de declividade, em graus para determinar os fatores L e S da EUPS. Esses dois fatores juntos foram levados em consideração, por se tratar de um termo denominado fator topográfico ou LS, que é adquirido através da agregação do comprimento da rampa (vertentes) com o gradiente de declividade (grau de inclinação), segundo modelos matemáticos desenvolvidos por Galdino (2012). Os fatores comprimento de rampa e declividade, mesmo tendo sido desenvolvidos por meio de pesquisa como fatores individuais, propõem-se considerá-los em conjunto, como sendo um fator LS assim como sugerem Bueno et al. (2011).

O método de Bertoni e Lombardi Neto (1990) foi considerado para obter os dados do fator LS. O comprimento de rampa (L) foi estimado a partir da equação (3) (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; FIORESE, 2021).

$$L = \sqrt{P^2 + \left(\frac{D}{100} X \cdot P\right)^2}$$

Em que:

L = Comprimento de rampa (adimensional);

P = Tamanho do pixel considerado (15 m);

D = Declividade (em porcentagem).

A declividade foi extraída a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área gerado pelo método da Rede Triangulada Irregular (TIN) a partir de feições (arquivos vetoriais) de curvas de nível da área estudada com equidistância de 5 m. Tais feições foram cedidas pelo GEOBASES (Geobases, 2020; Apud FIORESE, 2021). Em seguida, foi obtido o fator LS a partir da equação (4), também proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990); Apud FIORESE, 2021):

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times D^{1,18}$$

Em que:

LS = Fator topográfico (adimensional);

L = Comprimento de rampa (adimensional)

D = Declividade (em porcentagem).

Alguns solos apresentam maior propensão à erosão do que outros, mesmo quando a cobertura vegetal, a precipitação, o declive e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença é chamada de erodibilidade do solo (fator K), e ocorre devida às propriedades inerentes ao solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Esse parâmetro significa a vulnerabilidade ou susceptibilidade à erosão do solo, que é a recíproca da sua resistência à erosão. A erodibilidade é a única variável, na EUPS, relacionada com as características do solo, estando relacionada com as interações físico-químicas, biológicas e mineralógicas do solo (AHMED, 2009; Apud FIORESE, 2021).

O fator K (erodibilidade do solo) foi determinado inicialmente, a partir da edição de feições (arquivos vetoriais) referentes aos tipos de solos da BHRSC mapeados no ano de 2016, a princípio, para o Estado do Espírito Santo. O referido arquivo foi fornecido pelo GEOBASES (GEOBASES, 2020).

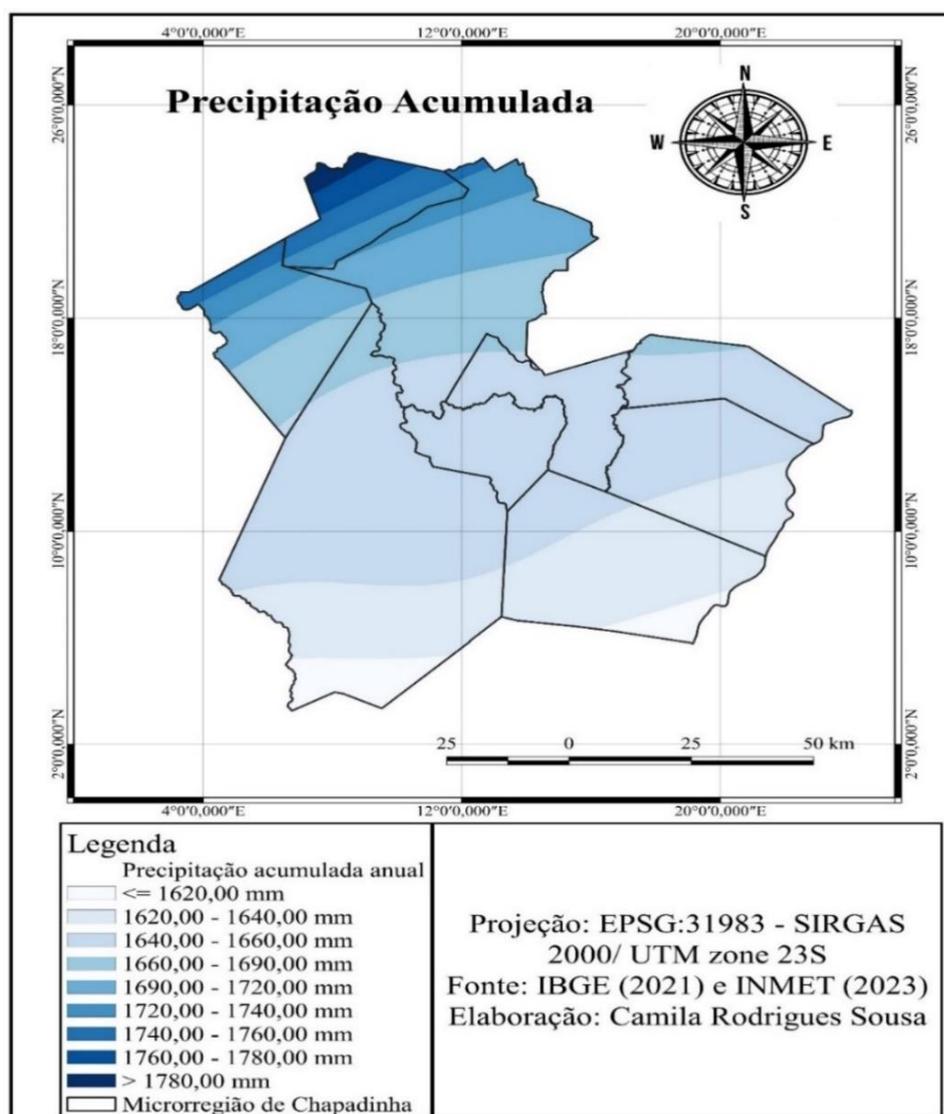
Posteriormente, o fator K foi determinado pela consulta dos dados numéricos inerentes à cada tipo de solo segundo Farinasso et al (2006). A inserção de todas as equações foi realizada com o auxílio da ferramenta “raster calculator” no software Qgis versão 3.22.12. Após a aquisição de todos os componentes da equação, a erosão potencial foi classificada de acordo com o e o método adotado por Guimarães (2011). Foram obtidos, ainda, dados estatísticos para os fatores L, S, LS (fator topográfico) e para a erosão potencial.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Pluviosidade da Microrregião de Chapadinha

A microrregião de Chapadinha apresentou uma variabilidade pluviométrica de precipitação total com valores mínimos de 1600,00 mm e máximo de 1800,00 mm. Esses valores podem ser visualizados com forma a sua distribuição espacial de modo a notar que as regiões com núcleos mais intensos evidenciam mais acúmulo de precipitação (Figura 2) visto que as cidades com tais variabilidades estão mais próximas do oceano. Contudo, nota-se ainda que mais ao leste da microrregião o índice pluviométrico revelou-se menos acentuado.

Figura 2. Mapa de Precipitação Acumulada da Microrregião de Chapadinha-MA



Fonte: Autora, 2023.

5.2 Fator R de Erosividade da Microrregião de Chapadinha

Os valores mínimos e máximos do fator R para a microrregião de chapadinha variaram de acordo com a variação da precipitação de cada estação meteorológica nas imediações próximas as cidades as quais compõem a área de estudo. Considerando a erosividade mínima assumida para a microrregião obteve-se o valor de 10.050,00 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ enquanto a erosividade média do fator R foi de 11.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Tabela 2). Tal resultado evidencia que a erosividade causada pela chuva é uma situação que pode estar associada com a alta intensidade pluviométrica e em decorrência da concentração de precipitação dos meses mais chuvosos na microrregião.

De acordo com Santos (2021) ao observar tais parâmetros e utilizar os mesmos métodos evidenciou resultados semelhantes para a Bacia Hidrográfica do Rio Caeté, Nordeste do Pará, que classificou como erosividade muito forte.

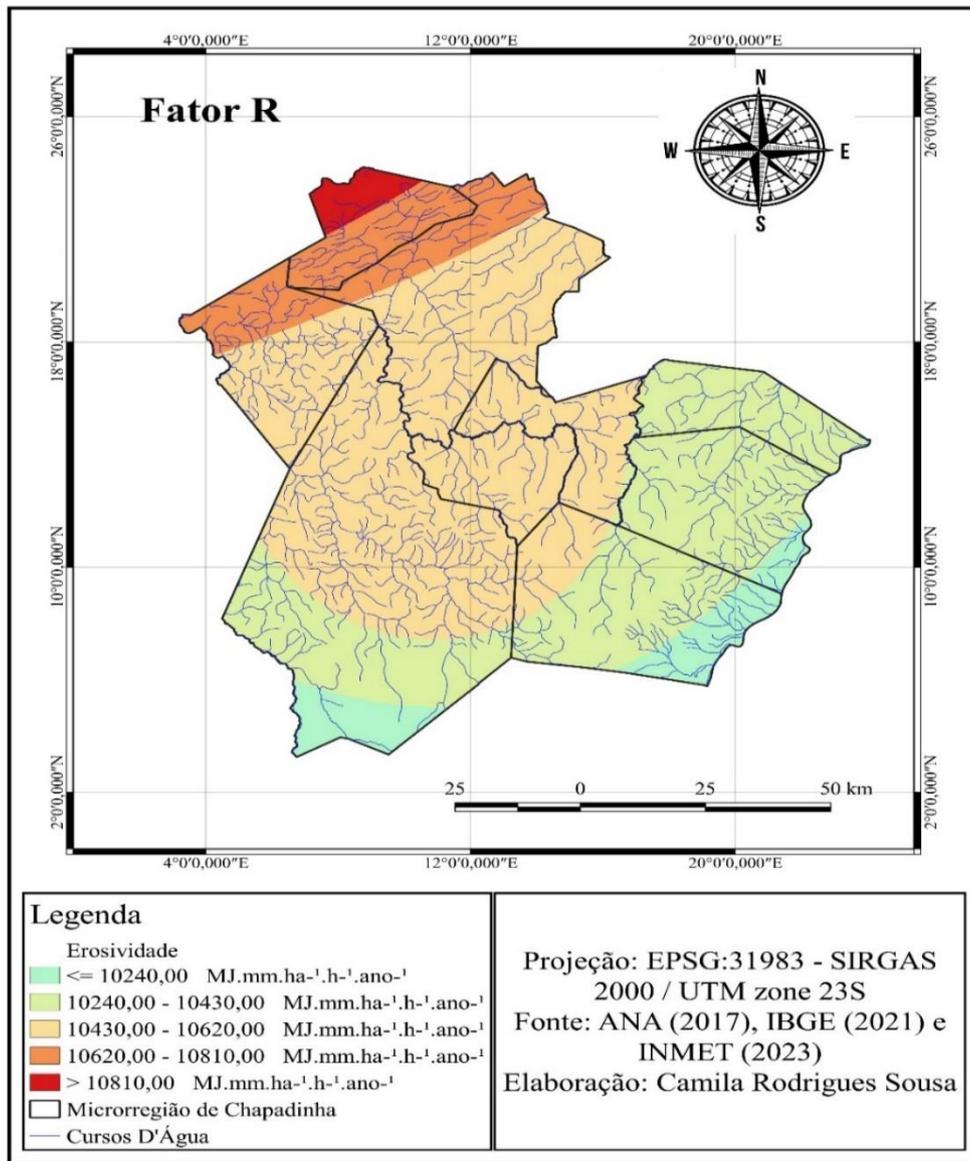
Tabela 2. Resultados quantitativos Fator R da Microrregião de Chapadinha

Classe de Erosividade	Erosão Total Anual (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹)	Área em hectare	Área em %
Erosividade Muito Forte	10.050,00	70.074,31	6,49
Erosividade Muito Forte	10.240,00	345.819,66	32,02
Erosividade Muito Forte	10.430,00	535.935,70	49,63
Erosividade Muito Forte	10.620,00	110.677,53	10,25
Erosividade Muito Forte	10.810,00	17.423,67	1,61
Erosividade Muito Forte	11.000,00	1079.930,87	100,00

Fonte: Autora, 2023.

De acordo com os resultados especializados (Figura 3) nota-se que o fator R evidencia que a quanto maior for o índice pluviométrico maior seu grau de erosividade proveniente da precipitação. Neste caso a precipitação na microrregião de Chapadinha demonstra seus níveis e sua distribuição.

Figura 3. Mapa de Erosividade Fator R da Microrregião de Chapadinha

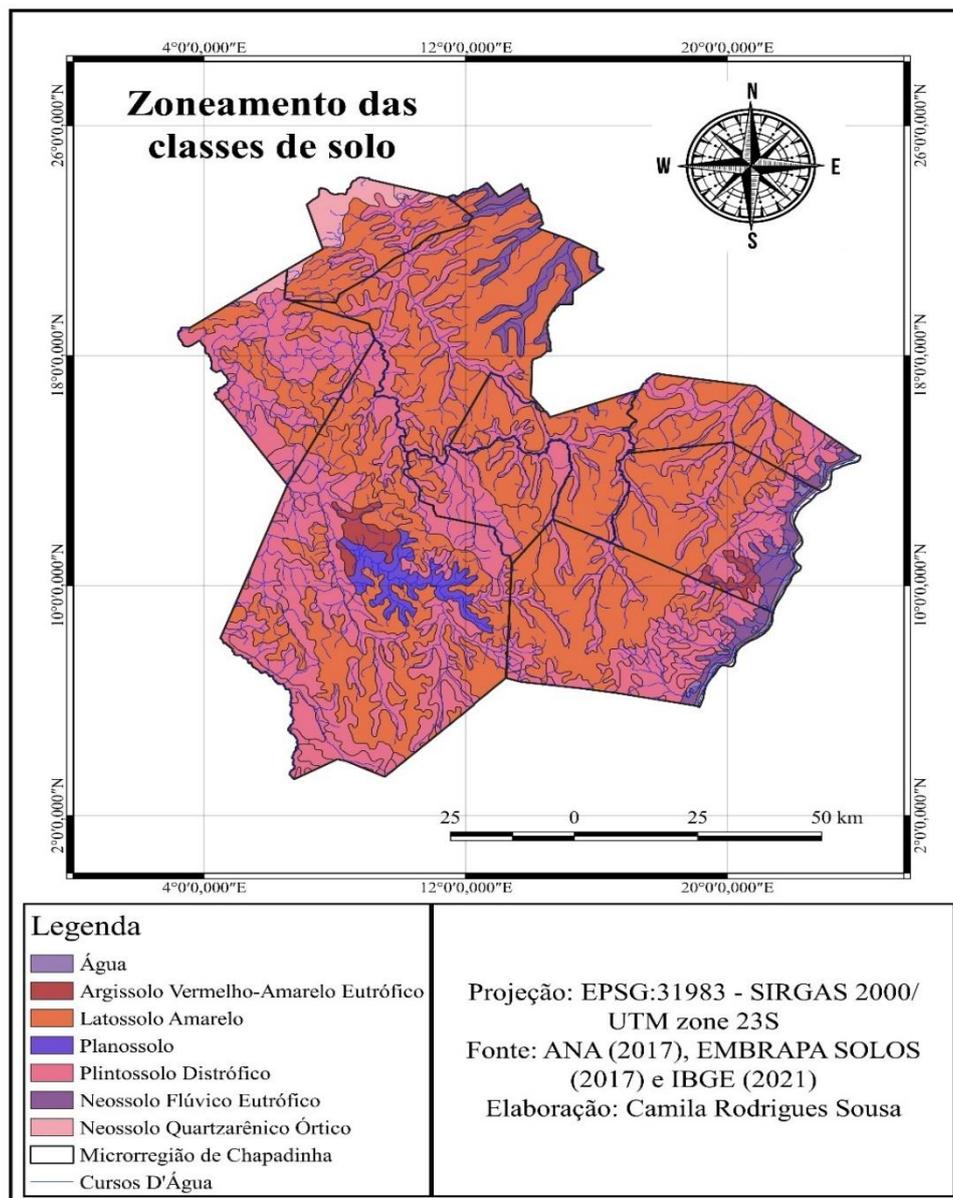


Fonte: Autora, 2023

5.3 Fator K de Erodibilidade do Solo

Para esse fator considerou-se as classes de uso e ocupação do solo encontradas na microrregião conforme o zoneamento das classes de solo, (Figura 4) de acordo com a Embrapa Solos (2017) a Microrregião de Chapadinha demonstrou sete classes de solo sendo Água, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Latossolo-Amarelo, Planossolo, Plintossolo Distrófico Neossolo Flúvico Eutrófico e Neossolo Quartzarênico Órtico.

Figura 4. Mapa do Zoneamento das classes de solo na Microrregião de Chapadinha



Fonte: Autora, 2023.

Os valores de K foram os mesmos assumidos pelo nomograma de Wischmeier et al. (1971) e com a reclassificação conforme EMBRAPA (1999), que associa o valor de erodibilidade (Tabela 3). A textura do solo determina o grau de susceptibilidade ao qual o solo está comprometido ao processo de erosão.

De acordo com os resultados do fator K, os solos com maior índice de erodibilidade foram o Planossolo com 0,057 t. ha. h/ha.Mj.mm, e Plintossolo Distrófico 0,055 t. ha. h/ha.Mj.mm, e Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico 0,051 t. ha.

h/ha.Mj.mm. Esses solos se comparados a outras classes existentes na área de estudo possuem maior taxa de erosão. Em relação a área o Planossolo é a classe de solo que ocupa cerca de 3,30% o Plintossolo Distrófico 6,87% e Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico 2,17. Ao considerar o fator K para solos com menos propensão a erodibilidade foi encontrado o Latossolo-Amarelo com 0,028 t. ha. h/ha.Mj.mm, com área estimada em 78,01 %, sendo a classe predominante no que se refere a extensão territorial na microrregião.

Tabela 3. Solos encontrados na Microrregião de Chapadinha a reclassificação conforme EMBRAPA (1999) com fator K e área

Classes de solo	Fator K	Área em hectare	Área em %
Água	0	2.066,63	0,31
Latossolo-Amarelo	0,028	519.451,49	78,01
Neossolo Quartzarênico Órtico	0,041	43.093,26	6,47
Neossolo Flúvico Eutrófico	0,046	19.101,12	2,87
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	0,051	14.430,89	2,17
Plintossolo Distrófico	0,055	45.733,01	6,87
Planossolo	0,057	22.002,29	3,30
Total	-	665.878,69	100,00

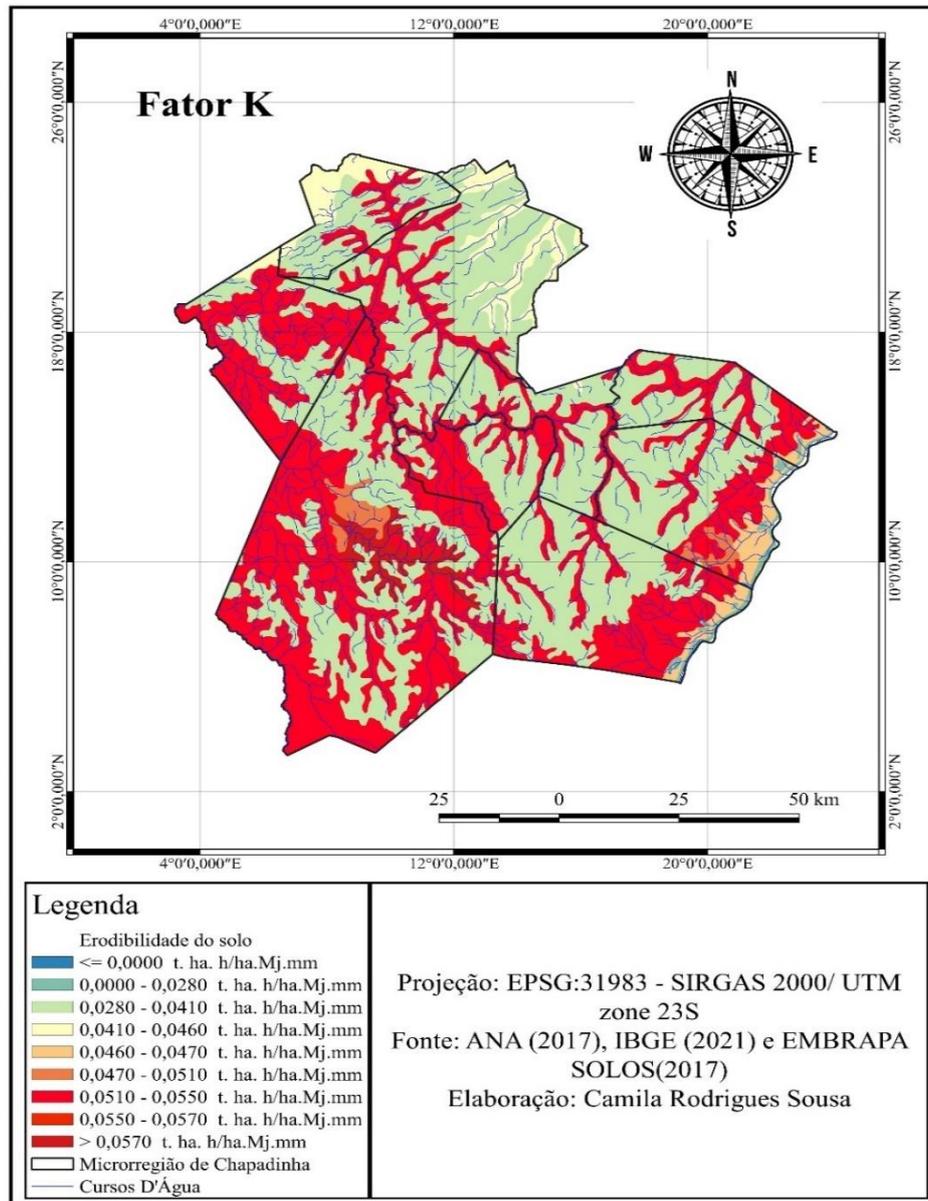
Fonte: Autora, 2023.

Conforme pode ser observado a espacialização da erodibilidade na Microrregião de Chapadinha (Figura 5) notou-se que aos tipos de solo distribuídos na área em cor vermelha, referem-se a região com o valor mais alto de erodibilidade conforme o fator K, em relação a Planossolos e Plintossolos, e distribuem-se por todas as cidades que compõem a microrregião. Nesse mesmo contexto em sua pesquisa Di Raimo et al. (2019), ressalta que Plintossolos possuem altas taxa de erodibilidade, corroborando com os resultados supracitados.

Seguindo a descrições no mapa em cor azul tem-se a classe predominante de Latossolo Amarelo com cerca de 519.451,49 ha, que evidencia abrangência na área, contudo, as classes com menor área foi Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico 14.430,89 ha, sendo 2,17% assim como a detecção de Água com 2.066,63 ha correspondendo a 0,31%. De acordo com Oliveira e Aquino (2021) os Latossolos

Amarelos são uma das classes consideradas com o mais baixo nível de erodibilidade. Corroborando assim para o mesmo caso da Microrregião de Chapadinha.

Figura 5. Mapa de Erodibilidade Fator K da Microrregião de Chapadinha



Fonte: Autora, 2023.

5.4. Fator LS de Erodibilidade

De acordo com os resultados para o fator LS, aferiu-se que esse fator extraído da declividade do MDE, demonstrou como as características do relevo podem ser mais propícias a determinados graus de erodibilidade. Com base na classificação da

EMBRAPA (1979) este fator considerou a declividade, com base nela foi elaborada a tabela com os resultados que determinaram o fator LS (Tabela 4).

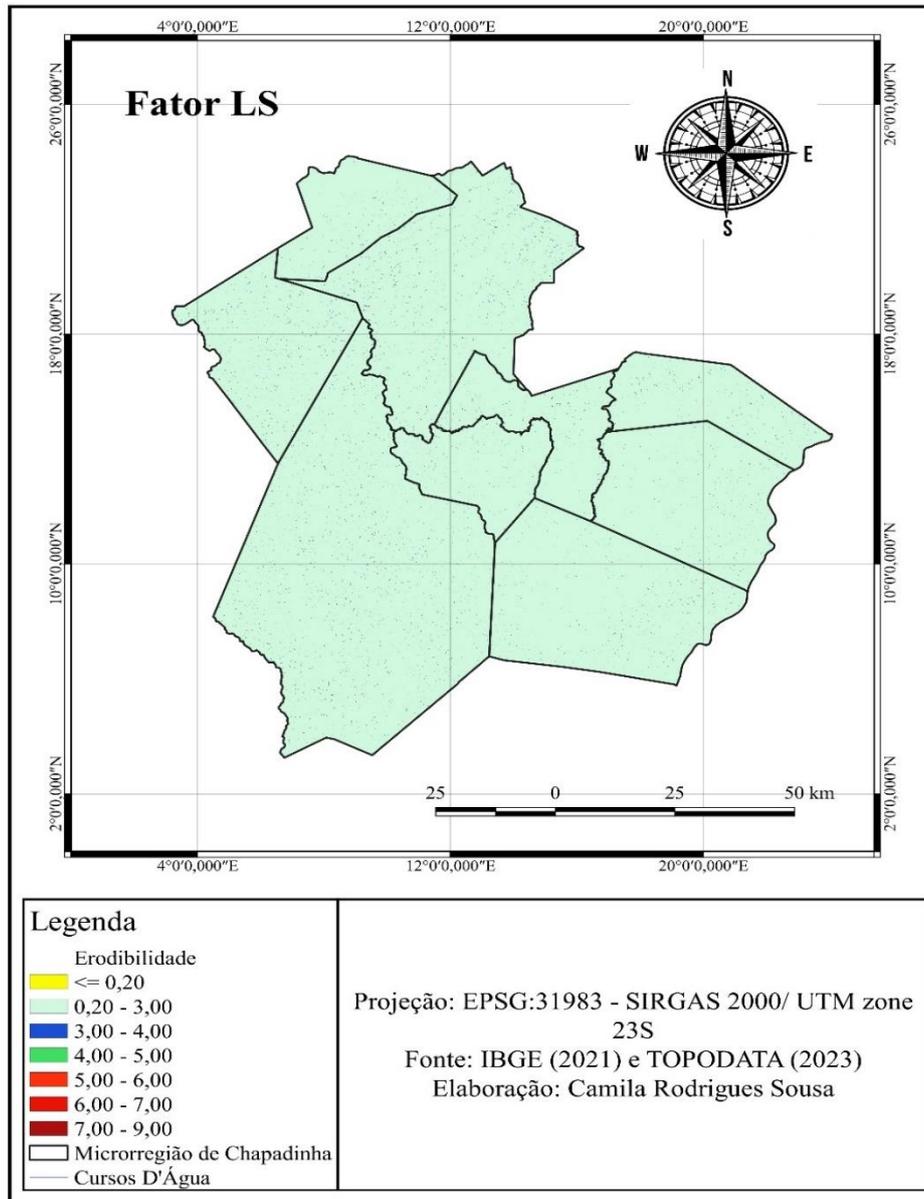
Tabela 4. Fator LS de Erodibilidade

Grau de erodibilidade	Área em hectare	Área em %
0,02	0,28	0,0000
3,00	1073.536,27	99,4137
4,00	4.459,55	0,4130
5,00	1.312,91	0,1216
6,00	396,90	0,0368
7,00	117,29	0,0109
8,00	42,10	0,0039
9,00	2,65	0,0002
Total	1079.867,96	100

Fonte: Autora, 2023.

Ao analisar o fator LS (Figura 6) juntos para estimar a erodibilidade da região encontrou-se os valores mínimos e máximos de 0,20 a 9,00 em relação ao seu potencial de erosão. Os resultados revelam baixos índices e ao mesmo tempo áreas consideradas altamente expostas a perda de solo. Segundo Guedes et al (2022) a alta taxa de erosão pode estar associada a incidência de erosão laminar de forma representativa visto que o escoamento superficial é gerado por tal ocorrência, dessa forma as áreas vulneráveis sofreram a intensificação do fenômeno acarretando os resultados máximos para a região.

Figura 6. Mapa de Erodibilidade fator LS da Microrregião de Chapadinha



Fonte: Autora, 2023.

5.5. Declividade da Microrregião de Chapadinha

Conforme a classificação a microrregião possui cerca de 65,00% de relevo plano o que representa a maior predominância dessa classe, contudo, outros tipos de relevo na área como Forte-ondulado e montanhosos se fizeram presentes, representando 0,19 e 1,13% respectivamente (Tabela 5). Esses tipos de relevos sofrem constantes processos erosivos. Segundo Lamana (2020) associa relevo com características muito elevadas a altas taxas do fator LS.

Tabela 5. Distribuição das classes de declividade Microrregião de Chapadinha

Declividade (%)	Relevo	Área em (ha)	Área em (%)
0 a 3	Plano	8012938,29	73,32
3 a 8	Suave-ondulado	2014798,01	18,44
8 a 20	Ondulado	756344,29	6,92
20 a 45	Forte-ondulado	21000,29	0,19
45 a 75	Montanhoso	123726,28	1,13

Fonte: Autora, 2023.

Analisando a representação da distribuição da declividade (Figura 7) na microrregião de Chapadinha nota-se que as áreas mais planas se localizam ao leste, representada pela cor amarela, sendo essa predominantemente em cores mais fortes seguindo o gradiente de cores do vermelho, tem-se a declividade mais elevada indicando relevos mais sinuosos, o que também pode ser considerado nessa observação é que a maioria dos cursos d'água se concentram nessas imediações.

Para Alves e Barros (2021) a declividade influencia na velocidade do escoamento superficial e infiltração do solo. Então sua declividade da região for acentuada, a água da chuva vai se concentrar ligeiramente nos cursos dos rios aumentando as chances de ocorrer picos de enchentes e acarretar processos erosivos.

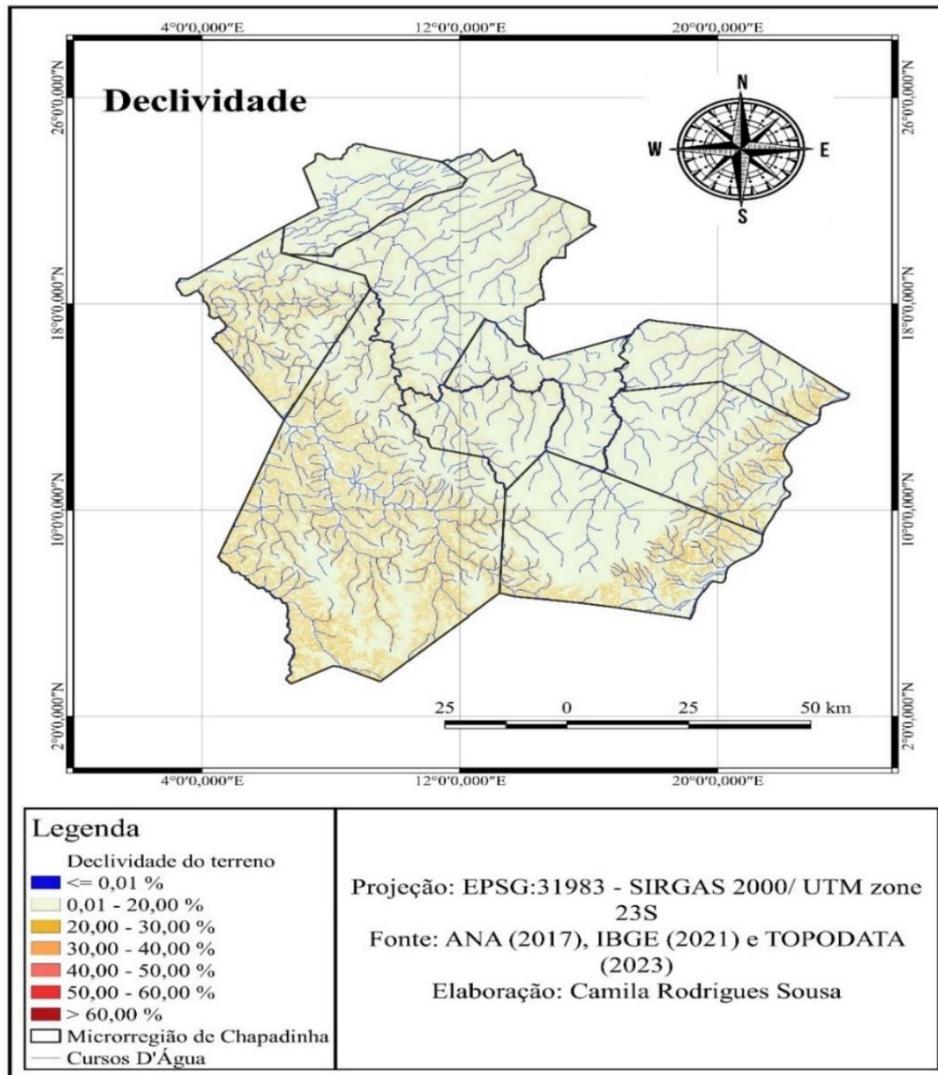


Figura 7. Mapa de declividade da Microrregião de Chapadinha

5.6. Uso e cobertura do solo

Tabela 6. Uso e cobertura do solo da Microrregião de Chapadinha

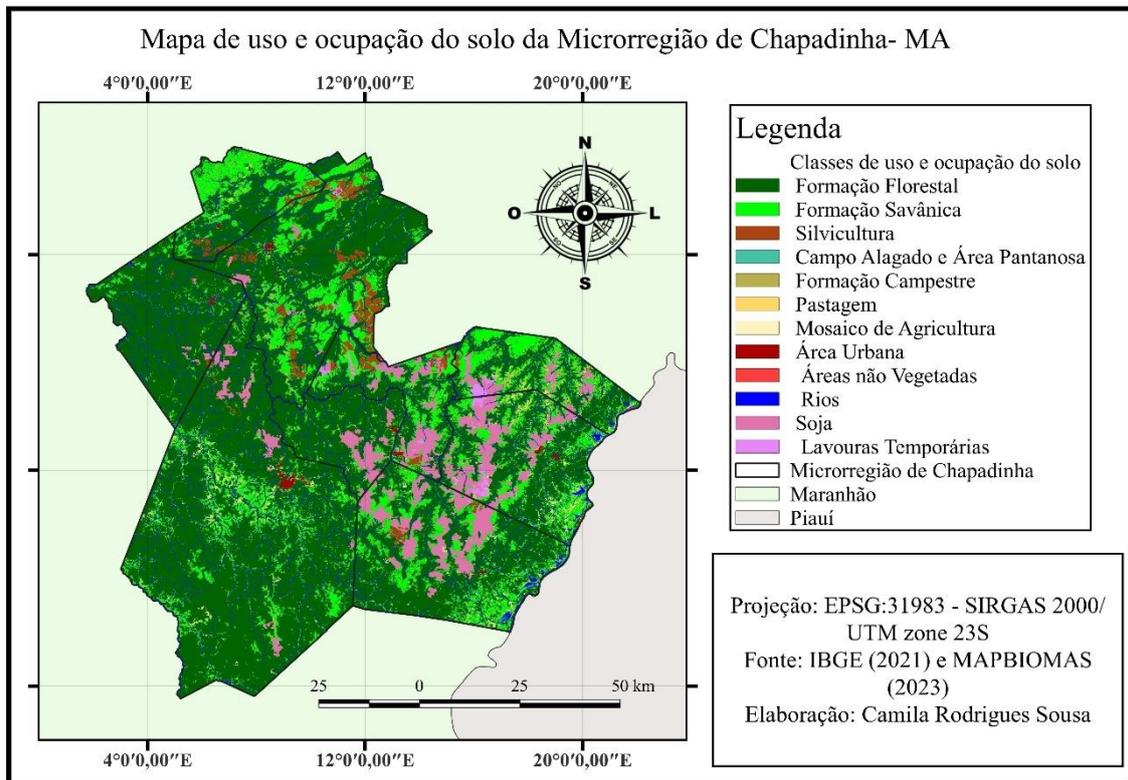
Classes de uso e ocupação do solo	Área em hectares	Área em %
Formação Florestal	745.312,78	69,01
Formação Savânica	193.669,01	17,93
Silvicultuta	22.582,68	2,09
Campo alagado	3.700,55	0,34
Formação Campestre	11.381,17	1,05
Pastagem	15.678,94	1,45
Cana de Açúcar	1,43	0,00013
Mosaico de Agricultura	5.76,61	0,05
Área Urbana	3.447,09	0,32
Solo Exposto	709,23	0,07
Rios	3.775,34	0,35
Soja	72.969,86	6,76
Lavouras Temporárias	6.078,84	0,56
Total	1079.883,54	100,00

Fonte: Autora, 2023.

Na análise de uso e cobertura do solo notou-se que em 2021 a microrregião evidenciou diversas classes de ocupação do solo, (Tabela 6) essas classes puderam ser classificadas como naturais, referem-se cobertura vegetal natural do solo, e as de cunho antrópico que se trata de classes de uso como a área urbana e agricultura. A microrregião de Chapadinha evidenciou a presença de 745.312,78 ha de Formação Florestal, sendo essa classe de maior predominância, já a classe com menor área foi a cana de açúcar com 1,43 ha, ambas as classes perfazem um percentual de 69,01% e 0,00013 respectivamente.

De acordo com a cobertura do solo na área de estudo notou-se que classes como soja podem ser evidenciadas em diversas partes da Microrregião, demonstrando que a prática agrícola foi bastante intensificada (Figura 8). A partir da afirmativa de que as classes de cunho antrópico ligadas a agricultura em geral se estabeleceram dentro da área de estudo, sendo essas com maior potencial de expansão ao longo dos anos.

Figura 8. Classes de uso e ocupação do solo da Microrregião de Chapadinha



Fonte: Autora, 2023.

5.7. Fator CP de Erodibilidade da Microrregião de Chapadinha

Ao analisar os valores encontrados para o fator CP (Tabela 7) e desconsiderar o valor 0, que por sua vez representam os cursos d'água e áreas urbanas pois não sofrem com processos erosivos, pois é o valor mínimo obtido que equivale a vegetação densa, como florestas. Vegetações densas aplacam o contato da erosão provocada pelas gotas das chuvas no solo, dessa forma diminuem o impacto do escoamento superficial, e causando menos assoreamento das partículas do solo, fazendo com que a água infiltre mais rapidamente e a erosão hídrica seja diminuída na região.

O valor mínimo considerado foi de 0,00 com 7.222,43 ha, ou seja, 0,68%, e o valor máximo encontrado para o fator CP foi de 1,00 o maior valor caracteriza solo exposto, com maior vulnerabilidade a erosão totalizando cerca de 709,23 ha com percentual de 0,07%. O valor de CP com maior área foi 0,0004, concentrado em cerca de 745.312,96, presente em 69,75% da área da microrregião de Chapadinha.

Tabela 7. Fator CP de Erodibilidade da Microrregião de Chapadinha

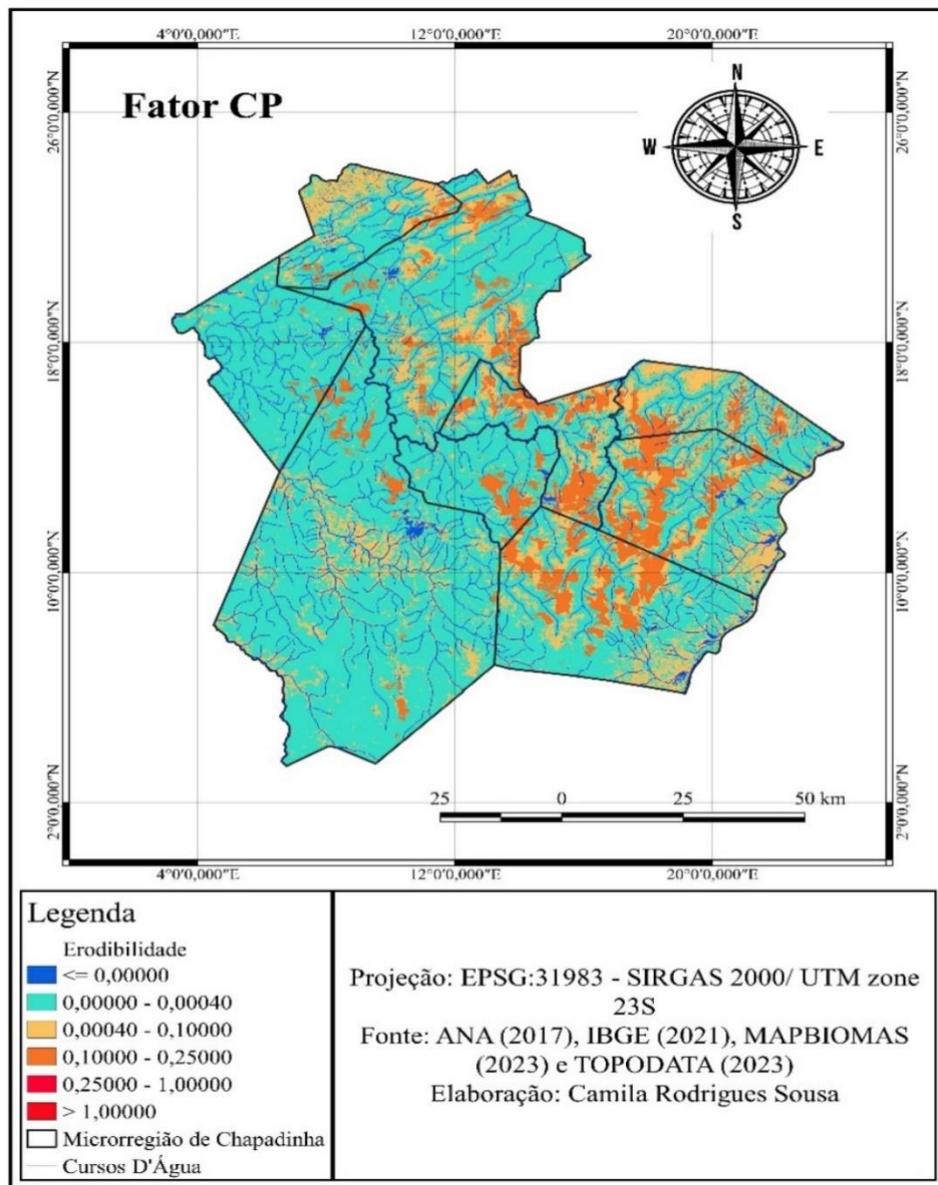
Fator CP	Área em hectare	Área em %
0,0000	7.222,43	0,68
0,0004	745.312,96	69,75
0,0007	193.668,21	18,13
0,0100	19.379,67	1,81
0,2000	96.129,25	9,00
0,2500	6.080,09	0,57
1,0000	709,23	0,07
Total	1068501,84	100,00

Fonte: Autora, 2023.

A distribuição desse fator leva em consideração do tipo de cobertura e o seu manejo, de acordo com essa perspectiva nota-se que os valores mais altos em relação a vulnerabilidade à erosão referem-se a regiões na microrregião que possuem lavouras temporárias ou solo com pouco ou nenhuma cobertura do solo (Figura 9).

Nesse contexto Borges et al. (2012) considera que a maneira como a distribuição espacial se apresenta está ligada primordialmente ao tipo de solo e sua cobertura vegetal, isto é, para o fator CP. Visto que os valores mais altos em sua maioria são representados por solo exposto e áreas de atividades agrícolas de uso generalizados.

Figura 9. Mapa de Erosividade fator CP da Microrregião de Chapadinha



Fonte: Autora, 2023.

5.8. Fator A de Erodibilidade da Microrregião de Chapadinha

As classes de erosão encontradas foram caracterizadas de acordo com a Tabela 7. O fator A que caracteriza a perda de solo na microrregião de Chapadinha evidenciou valores mínimos de 0,00009 t. ha. h/ha.Mj.mm, e valores máximos de 2.000,00 t. ha. h/ha.Mj.mm, contudo, ao considerar a classificação da FAO, UNEP e UNESCO (1980) nota-se que a microrregião evidenciou em sua maioria baixas taxas de erosão, tal resultado refere-se aos fatores que obtiveram baixas taxas, entre eles o fator LS.

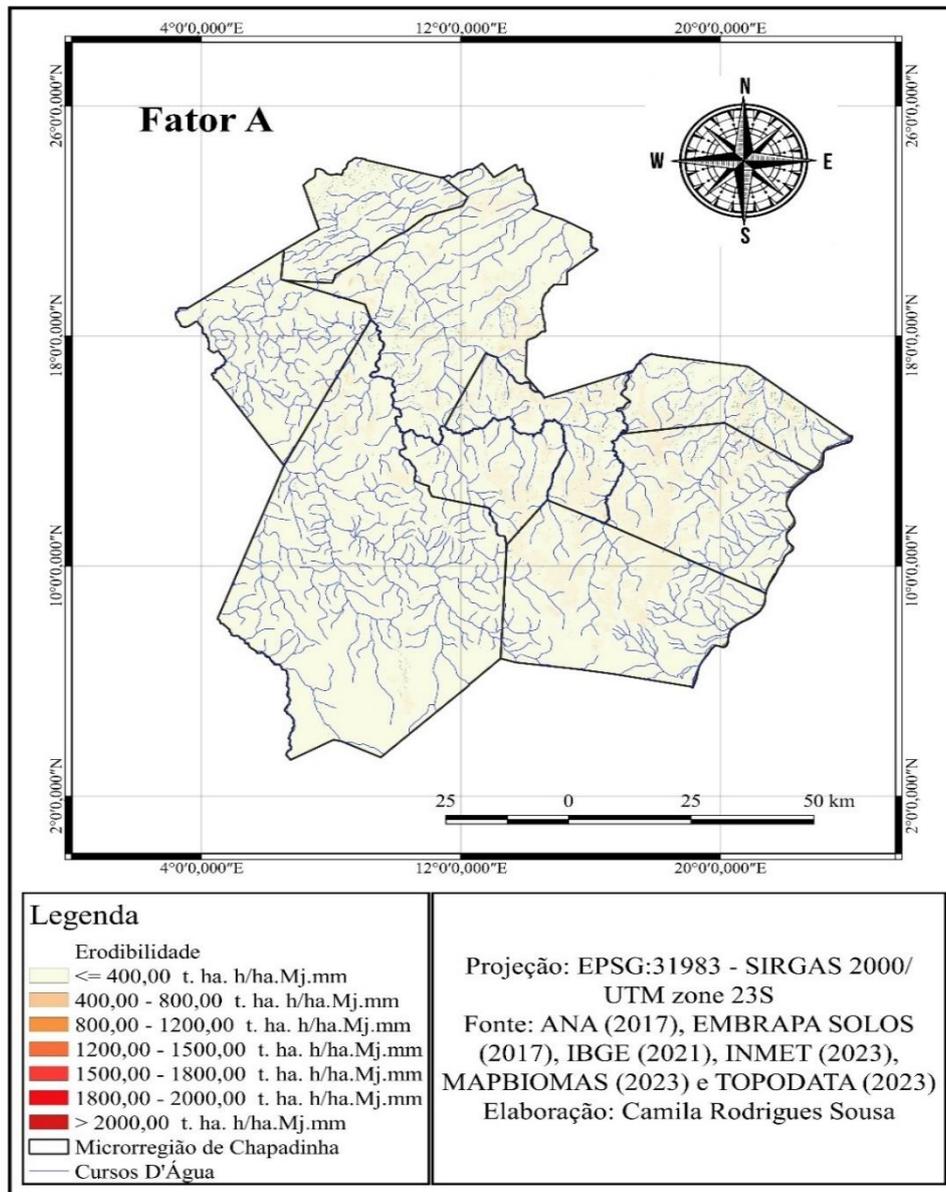
Tabela 8. Classificação das classes de erosão na Microrregião de Chapadinha

Perda de solo Mj.mm/ha.h.ano	Grau de erosão
<10	Baixo
10-50	Moderado
50-200	Alto
>200	Muito Alto

Fonte: Autora, 2023.

Por meio da distribuição espacial dos fatores que configuram a perda de solo por meio da erosão, notou-se que grande parte da Microrregião de Chapadinha demonstrou baixos níveis de erosão e pouca tendência de valores mais críticos. Ao analisar as áreas em coloração mais fortes as quais apresentam características de valores altos de erosão e ao comparar com o fator CP (Figura 6) as regiões que com seus valores médios são onde ocorrem os valores mais altos do fator A (Figura 9). De acordo com Fiorese et al. (2021) outra contribuição para a suscetibilidade da erosão refere-se a área com altos declives.

Figura 10. Mapa de Erodibilidade Fator A da Microrregião de Chapadinha



Fonte: Autora, 2023.

6 CONCLUSÃO

A USLE se mostrou uma ferramenta de grande eficiência para a estimativa da perda de solo na área de estudo, indicando quais áreas apresentaram maior vulnerabilidade à erosão, culminando na perda de solo.

De acordo com a análise alguns dos fatores contribuintes para o avanço dos processos erosivos com solos expostos ou quase nenhuma vegetação, dessa forma sem cobertura vegetal tais áreas estão comprometidas diretamente pelo fator R que se refere a chuva. Todavia, notou-se que a Microrregião de Chapadinha registrou valores considerados de moderado a muito alto. Recomenda-se que para situações em áreas com erosão ou riscos de erosões sejam implementadas práticas conservacionistas que tragam bons desempenhos tanto em áreas produtivas como é o caso da Microrregião de Chapadinha grande produtora de soja como em outras partes do estado do Maranhão.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. T. A., OLIVEIRA BARROS, V. H. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Riacho das Garças, Pernambuco, Brasil. **Revista Semiárido De Visu**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 131–142, 2021.

AMANI-BENI, M., ZHANG, B., XU, J. Impacto da árvore, grama e corpo d'água do parque urbano no microclima em dias quentes de verão: um estudo de caso do Parque Olímpico em Pequim, China. **Floresta Urbana e Arborização Urbana**, v. 32, p. 1-6, 2018.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. ed. 9. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

ARAUJO, H. B., PEREIRA, P. R. M., RODRIGUES, T. C. S., COSTA JUNIOR, E. P. B. Mudança de cobertura da terra nos municípios de Chapadinha e Buriti–MA, entre os anos de 1990 a 2017/Change of earth coverage in the municipalities of Chapadinha and Buriti–MA, between the years 1990 to 2017. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 36, p. 194-214, 2019.

BATISTA, R. A. W., NERY, L. M., MATUS, G. N., SIMONETTI, V. C., CUNHA, D. C. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, 2021.

BERTONI, J. C.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, 10. ed. São Paulo: Ícone, 2014, p. 248-267.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. (1999). **Conservação do solo**. (4a ed.) São Paulo: Ícone Editora.

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

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, J.C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 49-59, 2009.

BEZERRA, V. L. A. R; PINHEIRO, R. P; LUZ, D. S. Panorama da desertificação no estado do Maranhão. Ministério do Meio Ambiente. **Revista Geonorte**, V.10, N.36, p.194-214, 2019.

BORGES, K. M. R., JÚNIOR, O. A. C., MARTINS, E. S., GOMES, R. A. T., GUIMARÃES, R. F. Vulnerabilidade natural: a perda de solo da bacia do rio Carinhonha (MG/BA) usando uma abordagem qualitativa da equação universal de perda de solos. **GEOgraphia**, v. 14, n. 27, p. 101-125, 2012.

BUENO, C. R. P., ARRAES, C. L., MIQUELONI, D. P. Aplicação do sistema de informação geográfica para determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, 4 (2), 30-47, 2011.

CAMPOS, J. O., LIMA, C. A. O., CARNEIRO, A. M., REINALDO, L. R. L. R. Experimentos com características morfológicas como recurso didático para o ensino do solo. **Revista Geotemas**, v. 10, n. 1, p. 136-154, 2020.

CARVALHO, J. C., SALES, M. M., SOUZA, N. M., SILVA MELO, M. T. Processos erosivos no Centro-oeste brasileiro. Brasília, **Brasília**, v. 464, 2006.

CARVALHO, M. B. D. **Comparação de abordagens metodológicas para avaliação do potencial de ocorrência de processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Jaú, Aparecida D'Oeste-SP**. 2019, p.114. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) -Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira, 2019.

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. Models in Geomorphology. In: Models in Geography. Londres: **Methuen & Co**, p. 43-96, 1967.

CORRÊA, E. A. Perdas de solo e índices de vegetação: proposta metodológica para a determinação do fator C (MEUPS) em pastagens e cana-de-açúcar. Tese de Doutorado, 2016. (Doutorado em Geografia). Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 2016.

COUTINHO, L. M. **Aspectos do cerrado**: solo. 2000.

CUNHA, T. J. F., MACEDO, J. R., RIBEIRO, L. P., PALMIERI, F., FREITAS, P. L. D., AGUIAR, A. D. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, 31(1), 27-36, 2001.

DAMAME, D. B., LONGO, R. M., OLIVEIRA, E. D. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2019.

DANIEL, E., VIEIRA, B. C., MARTINS, T. D. Implicações do uso do solo na ocorrência de feições erosivas em São Pedro (SP). **Derbyana**, v. 42, 2021.

DI RAIMO, L. A. D. L., AMORIM, R. S. S., TORRES, G. N., BOCUTI, E. D., COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 55-67, 2019.

EL JAZOULI, A.; BARAKAT, A.; GHAFIRI, A.; EL MOUTAKI, S.; ETTAQY, A.; KHELLOUK, R. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). **Geoscience Letters**, v.4, n.25, p.1- 12, 2017.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, 412p. (1999)

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião

Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea)

FAO. Metodologia provisional para evaluation de la degradacion de los suelos. Roma: FAO/PNUMA: UNEP: UNESCO. 1980. 86 p.il.

FARINASSO, M., CARVALHO JÚNIOR, O. A. D., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., RAMOS, V. M. Avaliação Qualitativa do Potencial de Erosão Laminar em Grandes Áreas por Meio da EUPS Equação Universal de Perdas de Solos Utilizando Novas Metodologias em SIG para os Cálculos dos seus Fatores na Região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006.

FIGOIRESE, C. H. U. Susceptibilidade natural à erosão nas áreas de pastagem da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, no município de Muniz Freire (ES). **Journal on Innovation and Sustainability RISUS**, v. 12, n. 1, p. 83-96, 2021.

FIGOIRESE, C. H. U., CARVALHO, J. A., BATISTA, A. M. S., BATISTA, J. G., TORRES, H. Levantamento da perda de solo atual por erosão hídrica do município de cachoeiro de Itapemirim (ES). **Cadernos Camilliani e-ISSN: 2594-9640**, v. 16, n. 3, p. 1525-1546, 2021

FRANÇA, M. V., DE MEDEIROS, R. M., DE ARAÚJO, W. R., HOLANDA, R. M. Variabilidade dos índices de aridez e aplicabilidade da equação de perda de solo no município de Amparo de São Francisco-Sergipe, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p, 2020.

FRANCA, M. V., MEDEIROS, R. M., ARAÚJO, W. R. Isolinha erosiva máxima pelo método da krigagem na bacia hidrográfica do rio Paraíba, Brasil. **Research, Society and Development**. v.9, p.1 – 29, 2020.

FRANCO, M. W. S., TRINDADE SOUZA, J. R. Experimentação e contextualização no ensino de solos como recurso para educação ambiental. **XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XIII ENPEC ENPEC EM REDES – 2021**.

GALDINO, S. **Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do Alto Taquari –MS/MT**. 2012. p.115. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2012.

GAMA, J. R. N. F. **Solos: manejo e interpretação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004.

GIOVANINI JUNIOR, N. **Análise e aplicação de metodologias de predição de processos erosivos utilizando SIG na bacia hidrográfica do Córrego do Engano, Nova Canaã Paulista-SP**. 2019. p.177. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) -Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira, 2019.

GOTTSTEIN, P., JUNIOR, M. A. B., ARANTES, E. J. Uso de sistema de informação geográfica para determinação do potencial erosivo de bacias hidrográficas: estudo de caso

na bacia do Rio do Campo/PR. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 352-367, 2019.

GUEDES, F. C., VIEGAS, J. A., AGUIAR, M. C. P. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, na cidade de João Monlevade–MG. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e40411730094-e40411730094, 2022.

GUIMARÃES, R. Z., LINGNAU, C., RIZZI, N. E., SCHEICHI, R. G., CASSIA BIANCHI, R. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do rio Campinas, Joinville SC. **Raega-o espaço geográfico em análise**, v. 23, 2011.

HAAS, A., DA CONCEIÇÃO, S. R., DESCOVI FILHO, L., HENKES, J. A. Delimitação e caracterização de app através do uso de um sistema de informação geográfica (SIG): o caso das app's nos cursos de água da sub-bacia do lajeado pardo, noroeste do RS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 640-649, 2018.

HAREGEWEYN, N.; TSUNEKAWA, A.; POESEN, J.; TSUBO, M.; MESHESHA, D. T.; FENTA, A. A.; NYSSSEN, J.; ADGO, E. Comprehensive assessment of soil erosion risk for better land use planning in river basins: Case study of the Upper Blue Nile River. **Science of the Total Environment**, v.574, p.95-108, 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. **Vegetação Brasileira**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes_ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=downloads. Acesso em: 09 de set de 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil dos municípios brasileiros: 2017. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais**. - Rio de Janeiro. 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html>. 09 de mai. de 2022.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2022. **PRODES - Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite e Bioma Cerrado**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. Acesso em: 09 de mai. de 2022.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Sensoriamento Remoto. Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**. 2020. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 09 de mai. de 2022.

İRDEM, A.; TOPALOĞLU, F.; UYGUR, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 336, p. 30–37, 2007.

JARDIM, A. M. D. R. F., SILVA, J. R. I., DA SILVA, M. J., JÚNIOR, G. D. N. A., SOUZA, R., SOUZA, E. S. Modelagem da perda de solo por erosão hídrica em Planossolo Háptico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 6826-6834, 2020.

JUNIOR, N. G., ROCHA LIMA, CG, CARVALHO, M. B. Avaliação cruzada de processos erosivos com metodologias de quantificação de perda de solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 02, pág. 1142-1152, 2022.

LAMANA, M.S. Aplicação da Equação Universal de Perda De Solo (Usle) em uma Microbacia Hidrográfica Urbana. **XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. Campinas São Paulo. 2020

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

MARTINS, S.G.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesq. Agropec. Trop.**, 41:322-327, 2011.

MARTINS, W. L. D., BLANCO, C. J. C., MELO, A. M. Q. Potencial erosivo das chuvas nos estados do Maranhão e Pará via análise da distribuição espacial da erosividade. **Geoambiente On-line**, n. 36, p. 1-18, 2020.

MIGUEL, P., DALMOLIN, R. S. D., MOURA-BUENO, J. M., SOARES, M. F., CUNHA, H. N. D., ALBERT, R. P., LEIDEMER, J. D. Mapeamento da erodibilidade e erosão potencial do solo em uma bacia hidrográfica de encosta. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 01-09, 2021.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Vulnerabilidade Ambiental Desastres Naturais ou Fenômenos Induzidos**. Organização Rosely Ferreira dos Santos, 2016.

MUSHORE, T. D, ODINDI, J., DUBE, T., MATONGERA, T. N, MUTANGA, O. Aplicações de sensoriamento remoto no monitoramento dos impactos do crescimento urbano nas condições térmicas de entrada e saída: Uma revisão. **Aplicações de Sensoriamento Remoto: Sociedade e Meio Ambiente**, v. 8, p. 83-93, 2017.

OLIVEIRA ROCHA, L. B., MAGRI, R. A. F. Predição da perda de solo por erosão laminar na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina, Passos-MG. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 23, n. 87, p. 153–174, 2022.

OLIVEIRA, D. H. R., ACORSI, M. G., SMANIOTTO. Uso e ocupação do solo e caracterização morfométrica de microbacia na região centro-sul paranaense. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, 2018.

OLIVEIRA, L. N., AQUINO, C. M. S. Análise dos fatores de erodibilidade e declividade na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia, Piauí, Brasil. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq)**. (Embrapa Solos. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, 277) 2021.

PASCOTO, T. V. **Análises fatorial e de componentes principais aplicadas ao estudo dos fatores influenciadores de processos erosivos**. 2020. p.177. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) -Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira, 2020.

PEREIRA, C.N.; CASTRO, C.N.; PORCIONATO, G.L. Dinâmica econômica, infraestrutura e logística no MATOPIBA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea**. p.87, 2018.

PEREIRA, J. S. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar I**. 2014. p.167. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

PEREIRA, M. D. R.; CABRAL, J. B. P. Perda de solo no alto curso das bacias hidrográficas dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçuzinho, Palmas (TO). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, p. 332-339.

PHAM, T. G.; DEGENER, J.; KAPPAS, M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, v.6, n.2, p.99-110, 2018.

PIMENTA, V. R., BRASILEIRO, A. M. M., OLIVEIRA, A. R. DE, RAPOSO, K. C. S. Academic writing in the field of education: rhetorical moves in introductions and conclusions in scientific paper. **In SciELO Preprints**, v. 1, p. 24-47, 2022.

PINESE JUNIOR, J. F.; CRUZ, L. M.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia – MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20 n. 2, p. 157-175, dez. 2008.

PINTO, C. R. O. **Efeito do uso do solo sobre seus atributos na microrregião de Chapadinha-MA**. 2014. p.98. Tese de doutorado (Agronomia-Ciências do Solo) - Universidade Estadual Paulista – Unesp Câmpus de Jaboticabal, 2014.

PORTIS, G. T., SANTOS, A. M. D., NUNES, F. G. Análise espaço temporal da alteração do uso do solo sob influência de um polo gerador de viagens em Goiânia, GO, Brasil. **Ambiente Construído**, v. 20, p. 513-525, 2020.

RODRIGUES, T., TOMMASELLI, J. T. G., JUNIOR, P. P. A mapeamento da vulnerabilidade aos processos erosivos a partir de métodos multicriteriais: Um estudo sobre as condições ambientais da Bacia Hidrográfica da Represa Laranja Doce, Martinópolis–SP. **Formação (Online)**, v. 25, n. 45, 2018.

SAMPAIO LOPES, T. A. Educação em solos: a experiência do IF Baiano Itapetinga em tempos de pandemia. **Trilhas-Revista de Extensão do IF Baiano**, v. 2, n. Supl. 1, 2022.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. 18 p.

SANTOS, A. S. **Vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Caeté, Nordeste do Pará**. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capanema, 2021.

SANTOS, J. Y. G., QUEIR, R. Efeitos das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da Bacia do Rio de Janeiro, Oeste da Bahia: **Boletim Goiano De Geografia**, v. 41, n. 1, 2021.

SBCS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **ONU declara 2015 como ano internacional dos solos**. Disponível em: <http://www.sbc.org.br/?post_type=noticia_geral&p=3810>. Acesso em: 28 jul. 2022.

SCHICK, J., BERTOL, I., COGO, N. P., GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1906-1917, 2014.

SEGEDI, G. C. **Estimativa de erosão pela equação universal de perda do solo (USLE) para a bacia de São Marcos**. 2019. p. 19. Trabalho de conclusão de curso (Curso de especialização em geoprocessamento ambiental) - Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 2019.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. **Raega: O Espaço Geográfico em Análise**, v.42, p.72- 85, 2017.

SILVA, D. F. D. **Análise do potencial de perda de solo na área da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão**. 2021. p. 66. Trabalho de conclusão de curso (Departamento de Ambiente, Saúde e Segurança- DASS Licenciatura em Geografia) -Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco-Campus Recife, 2021.

SILVA, L. C. N.; LUCHIARI, A. Estimativa de Perda de Solos por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Córrego Baguaçu – SP. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 15 – 28, 2016.

SILVA, R. M. **Análise da perda de solos na bacia do Rio Tapacurá mediante previsão climática e modelos de erosão**. 2010. p133. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2010.

SOBRAL, M. D. C. M., ASSIS, J. M. O., OLIVEIRA, C. R., SILVA, G. M. N., MORAIS, M., CARVALHO, R. M. C. Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco–Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 12, n. 03, p. 95-106, 2018.

SOUSA, F. R. C. **Modelagem do sistema hidrológico da bacia hidrográfica do rio Coreau (Ceará – Brasil): Vulnerabilidade versus planejamento ambiental**. 2018. p. 121. (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2018.

SOUSA, F. R. C., PAULA, D. P. Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreau (Ceará-Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, 2019.

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

SOUZA, F. L. P., DE CAMPOS LEME, M., DA CONCEIÇÃO SARTORI, A. A., MANZATO, C. L., Campos, S. Geotecnologias na avaliação de perdas de solo. **Irriga**, v. 24, n. 3, p. 624-644, 2019.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na Bacia do Peixe-Paranapanema. **Anais 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. Marília-SP: ABGE / DAEE, p. 105-135, 1987.

THOMÉ, T. C., COLMAN, C. B., DE SOUZA, D. A. F., DE OLIVEIRA, P. T. S., SOBRINHO, T. A. Fator uso e cobertura do solo na erosão em bacia tropical. **Anais. XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos I Partículas das Américas**. Vitória, Espírito Santo. 2018.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.55–64, 2010.

VILAR, O.M., PRANDI, E.C. **Erosão dos solos, in: Solos do interior de São Paulo**. São Carlos-SP: ABMS e USP/SC, p. 177-206, 1993

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: Department of Agriculture, Agriculture Handbook, 1978.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 58p. (Agriculture Handbook, n. 537), 1978.

XAVIER, M. V. B, SANTOS, L. L, FONSECA, A. P. M, ALMEIDA, E. S, ALMEIDA, L. V. O, AGUIAR, R. M. A. S, OLIVEIRA, P. V. A. Capacidade de uso e manejo conservacionista do solo de um fragmento de cerrado stricto sensu, Montes Claros-MG. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 7, pág. e41410716697-e41410716697, 2021.

ZHOU, D., XIAO, J., BONAFONI, S., BERGER, C., DEILAMI, K., ZHOU, Y., SOBRINO, J.A. Sensoriamento remoto por satélite de ilhas de calor urbanas de superfície: Progresso, desafios e perspectivas. **Sensoriamento Remoto**, v. 11, n. 1, pág. 48, 2018.