



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

KAMILLA ARRUDA MOURA

SUSCETIBILIDADE A EROSÃO DO MUNICÍPIO DE LAGOA DO TOCANTINS

**PALMAS
2025**

KAMILLA ARRUDA MOURA

SUSCETIBILIDADE A EROSÃO DO MUNICÍPIO DE LAGOA DO TOCANTINS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Superior de Engenharia Agrônômica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Orientador: Dr. Bruno Machado Carneiro

**PALMAS
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

M929s Moura, Kamilla Arruda
 SUSCETIBILIDADE A EROSÃO DO MUNICÍPIO DE LAGOA DO
 TOCANTINS / Kamilla Arruda Moura. – Palmas, TO, 2025.
 62 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,
Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Bruno Machado Carneiro

1. Erosão. 2. USLE. 3. Geoprocessamento. I. Carneiro, Bruno
Machado. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS - TO
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

KAMILLA ARRUDA MOURA

SUSCETIBILIDADE A EROSÃO DO MUNICÍPIO DE LAGOA DO TOCANTINS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - *Campus* Palmas - TO, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 07 de agosto de 2025

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Bruno Machado Carneiro
IFTO - Campus Palmas - TO.

Prof. Dr. Thômas Vieira Nunes
IFTO - Campus Palmas - TO.

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana
IFTO - Campus Palmas - TO.

Palmas - TO, 07 de agosto de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 07/08/2025, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Machado Carneiro, Servidor**, em 07/08/2025, às 16:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thomas Vieira Nunes, Servidor**, em 07/08/2025, às 17:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2857459** e o código CRC **DC34A9EA**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77021-090 Palmas/TO - portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.015916/2025-62

SEI nº 2857459

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me sustentar e me guiar até este momento, ouvindo e atendendo minhas orações. Sou imensamente grata aos meus pais, Maria Eliene Arruda e Aparecido Batista, que foram meu alicerce sólido, sempre me apoiando e movendo o mundo para que eu alcançasse meus objetivos.

Agradeço ao meu namorado, Matheus Araújo, pelo apoio incondicional, tanto físico quanto emocional, e pelo companheirismo nas madrugadas de execução deste trabalho. Ao meu sobrinho, Bernardo Arruda, e à minha irmã, Ana Júlia Arruda, agradeço por serem minhas fontes de incentivo e por me motivarem a não procrastinar, mantendo-me focada na escrita.

Meu agradecimento também vai para os meus amigos, que estiveram ao meu lado durante todo esse período, oferecendo apoio e palavras de incentivo. Em especial, agradeço às minhas colegas de estágio, Luana Fernandes e Wanessa Cerqueira, que compartilharam dessa jornada comigo, nunca me deixando sozinha e sempre me oferecendo apoio nos momentos mais difíceis.

RESUMO

O presente estudo aborda a problemática da erosão do solo no município de Lagoa do Tocantins, localizado no bioma Cerrado, destacando a relevância desse fenômeno para a sustentabilidade ambiental e a produtividade agrícola. A erosão, intensificada por atividades antrópicas e características climáticas e edáficas da região, como chuvas intensas e solos frágeis (Argissolos e Neossolos Quartzarênicos), compromete a qualidade do solo e a segurança alimentar. A pesquisa utiliza a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) para avaliar a suscetibilidade à erosão, considerando fatores como erosividade da chuva (Fator R), erodibilidade do solo (Fator K), topografia (Fator LS) e uso e manejo do solo (Fator CP). Os resultados indicam que a erosividade da chuva na região é muito alta, contribuindo significativamente para a vulnerabilidade do solo. A erodibilidade do solo apresenta comportamento heterogêneo, com Argissolos e Neossolos Quartzarênicos mostrando alta suscetibilidade. O fator topográfico (LS) demonstra influência da declividade na perda de solo, embora a predominância de relevos planos a suavemente ondulados contribua para uma baixa potencialidade erosiva geral. O fator CP revela que áreas de solo exposto e de agropecuária apresentam maior vulnerabilidade. Conclui-se que, embora a maior parte do município apresente baixa perda de solo, áreas específicas exibem perdas moderadas a altas, demandando intervenções. As práticas conservacionistas, como plantio direto, culturas de cobertura, rotação de culturas e adubação orgânica, são essenciais para mitigar a erosão. Para áreas com declividade, o plantio em curva de nível e o terraceamento são recomendados. A USLE mostra-se eficaz na identificação de áreas vulneráveis, fornecendo subsídios para políticas públicas e estratégias de manejo sustentável. Recomenda-se o aprimoramento das análises com visitas de campo e tecnologias como drones para um diagnóstico mais preciso e quantificação das perdas de solo. O estudo enfatiza a necessidade de um manejo integrado para conciliar o desenvolvimento agrícola com a conservação ambiental, especialmente em solos vulneráveis e em áreas de preservação permanente.

Palavras chaves: Erosão, Solo, USLE, Geoprocessamento, Vulnerabilidade, Erosividade, Erodibilidade, Topografia, Uso, Manejo e Conservação.

ABSTRACT

The present study addresses the problem of soil erosion in the municipality of Lagoa do Tocantins, located in the Cerrado biome, highlighting the relevance of this phenomenon for environmental sustainability and agricultural productivity. Erosion, intensified by anthropic activities and climatic and edaphic characteristics of the region, such as intense rainfall and fragile soils (Argisols and Quartzarenic Neosols), compromises soil quality and food security. The research uses the Universal Soil Loss Equation (USLE) to assess erosion susceptibility, considering factors such as rainfall erosivity (R Factor), soil erodibility (K Factor), topography (LS Factor), and land use and management (CP Factor). The results indicate that rainfall erosivity in the region is very high, contributing significantly to soil vulnerability. Soil erodibility presents heterogeneous behavior, with Argisols and Quartzarenic Neosols showing high susceptibility. The topographic factor (LS) demonstrates the influence of slope on soil loss, although the predominance of flat to gently undulating reliefs contributes to low general erosive potential. The CP factor reveals that areas of exposed soil and agriculture present greater vulnerability. It is concluded that, although most of the municipality presents low soil loss, specific areas exhibit moderate to high losses, demanding interventions. Conservation practices, such as no-tillage, cover crops, crop rotation, and organic fertilization, are essential to mitigate erosion. For areas with slope, contour planting and terracing are recommended. The USLE proves effective in identifying vulnerable areas, providing subsidies for public policies and sustainable management strategies. It is recommended to improve analyses with field visits and technologies such as drones for more precise diagnosis and quantification of soil losses. The study emphasizes the need for integrated management to reconcile agricultural development with environmental conservation, especially in vulnerable soils and permanent preservation areas.

Keywords: Erosion, Soil, USLE, Geoprocessing, Vulnerability, Erosivity, Erodibility, Topography, Use, Management and Conservatio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Problema.....	9
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivo Geral	10
1.1.2 Objetivos Específicos	10
1.2 Justificativa	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Erosão	12
2.2 Equação Universal de Perda de Solo	13
2.2.1 Fator de Erosividade R.....	15
2.2.2 Fator Erodibilidade K.....	16
2.2.3 Fator Declividade e Comprimento de Rampa LS	18
2.2.4 Fator de Uso e Manejo do Solo C	19
2.2.5 Fator de Práticas Conservacionistas P	20
2.3 Caracterização Da Área	20
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 Fator R.....	27
3.2 Fator K.....	30
3.3 Fator LS.....	30
3.4 Fator CP	32
3.5 Mapa de Perda de Solo Anual	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 Erosão do Solo no Município de Lagoa do Tocantins	44
4.2 Práticas Conservacionistas.....	49
5. CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um dos principais processos de degradação ambiental, este, representa uma ameaça direta à sustentabilidade dos recursos naturais, à produtividade agrícola e à conservação da biodiversidade. Trata-se da remoção das camadas superficiais do solo pela ação de agentes naturais, como a água e o vento, que pode ser intensificada, na maioria das vezes, por atividades antrópicas inadequadas (EMBRAPA, 2022; FAO, 2021).

No Brasil, a problemática da erosão assume proporções preocupantes, especialmente em regiões onde o clima é tropical, no qual a combinação de chuvas intensas, solos frágeis e manejo inadequado contribui para um processo acelerado de perda de solo. De acordo com a FAO (2021), o Brasil está entre os países com maiores taxas de perda de solo por erosão hídrica em áreas agrícolas, o que compromete significativamente a qualidade ambiental e a segurança alimentar.

No bioma Cerrado, o qual ocupa aproximadamente 24% do território brasileiro, a erosão se apresenta como uma das principais ameaças aos ecossistemas naturais e à sustentabilidade da produção agropecuária (MMA, 2023). Ademais, fragilidade dos solos do Cerrado, majoritariamente ácidos e de textura média a arenosa, os torna altamente suscetíveis à ação das águas pluviais, especialmente em áreas com baixa cobertura vegetal (SOUZA et al., 2022).

O município de Lagoa do Tocantins, localizado no estado do Tocantins, integra o bioma Cerrado. Tal área apresenta predominância de solos do tipo argissolos, tendo por característica a presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso que atua como uma barreira ao fluxo vertical da água, favorecendo o escoamento superficial (OLIVEIRA et al., 2021), além de um relevo ondulado e regime pluviométrico concentrado em poucos meses do ano, sendo fatores que contribuem para a instabilidade do solo quando não há cobertura vegetal adequada (IBGE, 2023; INMET, 2023).

O uso da terra na área rural do município, com crescente substituição da vegetação nativa por áreas de cultivo agrícola e pastagens, muitas vezes sem a adoção de práticas conservacionistas, podem resultar em processos erosivos. Segundo dados do MapBiomas (2023), entre os anos de 1985 e 2022 houve uma redução da vegetação nativa no território, o que pode aumentar expressivamente o risco de processos erosivos.

Essas transformações têm sido parcialmente impulsionadas por incentivos governamentais voltados ao fortalecimento da atividade agrícola, principalmente na região conhecida como MATOPIBA, área do bioma Cerrado que abrange porções dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (TOCANTINS, 2024). Embora tais políticas tragam oportunidades de geração de renda e dinamização da economia, elas também podem contribuir para a intensificação da degradação dos solos caso não estejam acompanhadas de ações integradas de planejamento ambiental e práticas de uso sustentável da terra (TOCANTINS, 2023).

Considerando a importância do solo como recurso natural essencial para a sustentabilidade ecológica, econômica e social, a caracterização da suscetibilidade à erosão é uma ferramenta estratégica que identifica áreas frágeis e sujeitas à degradação ambiental (MELO et al., 2023). Além do mais, estudos voltados à identificação de áreas críticas, são fundamentais para subsidiar políticas públicas de controle preventivo e corretivo (DE CARVALHO & DE CASTRO, 2023).

1.1 Problema

A intensificação da agricultura no município de Lagoa do Tocantins, a qual foi impulsionada por políticas públicas de incentivo ao setor, tem promovido a expansão de áreas de cultivo em detrimento da vegetação nativa. Esse processo, embora gere impactos positivos do ponto de vista econômico e social, levanta sérias preocupações quanto à sustentabilidade dos recursos naturais, especialmente do solo.

Considerando que os solos da região são predominantemente argissolos e limitada capacidade de retenção de água, a retirada da cobertura vegetal e a substituição por práticas agrícolas intensivas inadequadas podem desencadear ou acelerar processos erosivos. Soma-se a isso o fato de o município situar-se em uma região de relevo ondulado e regime pluviométrico sazonal, com chuvas concentradas em poucos meses do ano, o que contribui para o aumento da vulnerabilidade à erosão.

Diante desse contexto, surgem questões centrais:

- Quais são as áreas mais suscetíveis à erosão no município de Lagoa do Tocantins?
- Quais fatores contribuem para essa suscetibilidade?
- Que medidas podem ser adotadas para mitigar esses processos e garantir o uso sustentável da terra?

Responder a essas perguntas é fundamental não apenas para compreender a dinâmica da erosão no município, mas também para subsidiar políticas públicas e estratégias de manejo que conciliem desenvolvimento econômico com conservação ambiental.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a suscetibilidade à erosão dos solos do município de Lagoa do Tocantins, com base na análise integrada de fatores ambientais e de uso da terra.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar os principais fatores que condicionam a erosão no município;
- Mapear as áreas com maior potencial de erosão, utilizando ferramentas de geoprocessamento.
- Sugerir práticas de manejo e conservação do solo adequadas às condições locais.

1.2 Justificativa

Este trabalho justifica-se pela necessidade de compreender a vulnerabilidade dos solos de Lagoa do Tocantins à erosão, considerando o avanço da atividade agrícola e a escassez de estudos locais que integrem fatores ambientais e uso do solo. A erosão não afeta apenas a produtividade agrícola, mas também compromete os recursos hídricos, por meio do assoreamento de corpos d'água, e áreas de preservação, localizado nas proximidades do município.

A região integra o MATOPIBA e, embora represente desenvolvimento econômico, a expansão agrícola sem práticas conservacionistas aumenta os riscos de degradação do solo.

Além disso, há uma carência de estudos direcionados à análise integrada dos fatores que influenciam a suscetibilidade à erosão no município de Lagoa do Tocantins. Nesse contexto, este trabalho justifica-se pela sua relevância científica e prática, ao

procurar identificar as áreas mais vulneráveis e possibilitar orientar ações estratégicas de manejo conservacionista, utilizando ferramentas de geoprocessamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Erosão

O solo é um recurso natural limitado que desempenha um papel crucial na preservação da vida no planeta, realizando funções ecológicas, sociais e econômicas essenciais (SAMPAIO, 2022). Segundo Martins e Fernandes (2017), esse recurso possui características restritas, com um processo de formação que leva séculos, enquanto sua destruição pode acontecer em apenas alguns meses se as práticas de manejo apropriadas não forem implantadas.

Juntamente com a água e o ar, o solo desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade, no ciclo da água, na nutrição das plantas e na estabilidade dos ecossistemas terrestres. Corrêa (2016) ressalta que a qualidade adequada do solo é fundamental para garantir, de maneira direta ou indireta, a disponibilidade de água e alimentos para a população humana. No entanto, mesmo com sua relevância, o solo muitas vezes não é tratado com a importância necessária, o que contribui para sua degradação.

A degradação da terra representa um sério problema ambiental, com a erosão sendo um dos principais fatores que contribuem para essa deterioração. Segundo Franco e Souza (2021), a exploração inadequada do solo tem estimulado pesquisas focadas na sua preservação. Dentro desse cenário, os processos erosivos são dignos de atenção, uma vez que a perda de grandes quantidades de solo arável tem se tornado cada vez mais frequente, especialmente em áreas onde métodos inadequados são utilizados. De acordo com Silva e Luchiari (2016), essas perdas, em muitos casos, são irreversíveis e poderiam ser evitadas por meio de práticas conservacionistas apropriadas.

A erosão é o processo pelo qual partículas do solo são removidas, tanto por ação física quanto química, devido a fatores como água, vento e a força da gravidade (ALBUQUERQUE, 2009). Bertoni e Lombardi Neto (2010) acrescentam que essa perda do solo prejudica sua fertilidade e sua estrutura, causando danos à produção agrícola, ao mesmo tempo em que contribui para o assoreamento dos rios, a contaminação de fontes de água, a diminuição da biodiversidade e até mesmo a inutilização das terras.

Nas áreas de agricultura, os efeitos da erosão ficam ainda mais evidentes. Lal

(2017) explica que a erosão diminui a capacidade do solo de absorver água e drenar, além de dificultar que as raízes das plantas cresçam profundamente. Dechen et. al. (2015) acrescentam que esse processo também causa a perda de água, matéria orgânica, nutrientes e fertilizantes, o que traz prejuízos econômicos importantes para os agricultores. De acordo com a EMATER/RS, em 2024 cerca de 2,7 milhões de hectares de solo perderam a fertilidade devido a erosão do solo provocada pelas enchentes que afetam o estado.

Nas condições de clima tropical, a erosão mais importante é a denominada hídrica, pois os índices pluviométricos são mais elevados nessas regiões em detrimento das outras do planeta. Nesse sentido, verifica-se que o processo erosivo pode ser ainda mais intenso nas regiões de clima tropical devido à concentração de chuvas em determinado período ou estação do ano (BERTONI, LOMBARDI NETO, 2010).

A erosão hídrica consiste em um processo dividido em três etapas principais: desagregação, transporte e deposição. Inicialmente, a precipitação que incide sobre o solo promove o umedecimento dos agregados, enfraquecendo as forças que os mantêm unidos. Com a continuidade da chuva e o impacto das gotas, esses agregados são fragmentados em partículas menores, fazendo com que o número de partículas fragmentadas aumente conforme cresce a energia cinética da precipitação, a qual é influenciada pela intensidade, velocidade e tamanho das gotas de chuva. O transporte do solo, só se inicia quando a intensidade da chuva supera a capacidade de infiltração do solo, a qual tende a diminuir com o umedecimento progressivo do solo e o fenômeno do selamento superficial (HERNANI et. Al., 2002).

Uma vez iniciado o escoamento superficial, a enxurrada desloca-se no sentido descendente do relevo, podendo concentrar-se em pequenas depressões no terreno. Sua velocidade tende a aumentar conforme aumentam o volume da suspensão transportada e a declividade do terreno, ampliando sua capacidade de gerar atrito e intensificar a desagregação ao longo do percurso. Por fim, ocorre o processo de deposição quando a quantidade de sedimentos transportados pela enxurrada ultrapassa sua capacidade de carregamento (HERNANI et. Al., 2002).

2.2 Equação Universal de Perda de Solo

Desde a década de 1940, diversos modelos têm sido desenvolvidos para

avaliar a erosão do solo, com destaque para a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), proposta por Wischmeier e Smith em 1965. Este modelo empírico estima a perda média anual de solo causada pela erosão hídrica, considerando fatores como erosividade da chuva, erodibilidade do solo, topografia, cobertura vegetal e práticas de manejo (EMBRAPA, 2023).

A equação é expressa como:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Onde:

- A: perda média anual de solo ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);
- R: fator de erosividade da chuva ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);
- K: fator de erodibilidade do solo ($\text{Mg} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$);
- L: fator de comprimento da encosta;
- S: fator de declividade da encosta;
- C: fator de cobertura e manejo do solo;
- P: fator de práticas conservacionistas

A USLE foi posteriormente modificada para aprimorar suas estimativas dando origem aos seus derivados. Em 1975 Williams introduziu a Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE), em 1991, Renard et al. desenvolveram a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), em 2008 foi lançado pelo USDA a RUSLE 2 (BARROS, 2017).

A aplicação desses modelos é facilitada por sua natureza empírica e pela disponibilidade de dados necessários para sua implementação (TEIXEIRA et al., 2022). Além disso, com a chegada do geoprocessamento, tornou-se possível aplicar esses modelos em escalas regionais, identificando áreas suscetíveis à erosão e auxiliando no planejamento de práticas conservacionistas (XAVIER, A. C.; LOMBARDI NETO, F.; SILVA, M. L. N., 2019). Contudo, vale destacar que tanto a USLE quanto suas versões modificadas apresentam limitações quando aplicadas a formas mais intensas de erosão. Esses modelos são mais indicados para estimar a perda de solo causada por processos de erosão laminar, sendo pouco eficazes na avaliação de fenômenos mais complexos, como as voçorocas, que envolvem interações mais sofisticadas entre fatores hidrológicos e geomorfológicos (Silva et al., 2020).

2.2.1 Fator de Erosividade R

O fator R, também chamado de “índice de Wischmeier”, expressa numericamente a energia que resulta do impacto das gotas de chuva, do salpico, da turbulência e do escoamento superficial, todos os processos que contribuem para o deslocamento das partículas de solo em áreas sem cobertura vegetal (EMBRAPA, 2023).

Diversos trabalhos desenvolvidos no Brasil apontam uma relação direta entre o índice de erosividade da chuva, representado pelo EI_{30} , e as perdas de solo, indicando que quanto maior for esse índice, maior será a intensidade dos processos erosivos (TEIXEIRA et al., 2022).

O EI_{30} é determinado pelo produto da energia cinética das chuvas (E) e da intensidade máxima de precipitação registrada em 30 minutos (I_{30}). Essa combinação representa a capacidade potencial de eventos pluviométricos provocarem erosão e é expressa na unidade $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$, sendo amplamente adotada em modelos de predição da erosão hídrica (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A energia cinética gerada pelas gotas de chuva é calculada, conforme Foster et al. (1981), através da equação:

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (2)$$

Em que:

- Ec corresponde à energia cinética ($MJ/ha \cdot mm$) e
- I representa a intensidade da chuva (mm/h).

A partir desse cálculo, obtém-se o índice de erosão pela seguinte fórmula:

$$EI^{30} = Ec \times I^{30} \quad (3)$$

Onde: EI_{30} expressa o índice de erosividade ($MJ/ha \cdot mm/h$), Ec é a energia cinética I_{30} é a maior intensidade de chuva observada em 30 minutos, obtida através de dados registrados por pluviógrafos.

O somatório dos valores de EI de cada evento de chuva ao longo de um determinado intervalo temporal fornece uma estimativa da erosividade para esse período. Assim, o acúmulo de todos os valores de EI ao longo de um ano permite

calcular a erosividade anual de uma localidade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

A limitação quanto à disponibilidade de dados obtidos por pluviógrafos, cuja análise exige considerável esforço para a avaliação da energia cinética, impulsionou a busca por métodos que relacionem o índice de erosividade a variáveis climáticas de mais fácil obtenção, sem a necessidade de registros detalhados de intensidade pluviométrica (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992).

Diversos estudos têm utilizado métodos de interpolação espacial para estimar a erosividade das chuvas em diferentes regiões do Brasil, abrangendo múltiplas escalas de análise. Autores como Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), Silva (2004) e Bertoni e Lombardi Neto (1985) demonstram que essas técnicas podem ser eficazes para suprir a carência de dados pluviográficos. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985), o ideal seria contar com séries de precipitação com pelo menos 20 anos de registros. No entanto, Silva (2004) argumenta que séries com apenas 10 anos já permitem estimativas razoáveis da erosividade.

Entretanto, conforme apontam Rutebuka et al. (2020), o uso dessas equações empíricas deve se restringir a regiões que apresentem características pluviométricas semelhantes às aquelas onde as fórmulas foram originalmente desenvolvidas, sob risco de se obterem resultados imprecisos. Além disso, Oliveira et al. (2018) destacam que tais modelos nem sempre conseguem capturar adequadamente eventos de chuva de alta intensidade, os quais são particularmente importantes para a definição da erosividade.

Por sua vez, Renard e Freimund (1994) ressaltam que, ainda que os valores obtidos não sejam absolutamente precisos, podem servir como referência para avaliar o potencial erosivo e realizar comparações relativas entre diferentes áreas e cenários. De modo semelhante, Xavier et al. (2019) constataram que, embora as metodologias para determinação do fator R resultem em magnitudes distintas, não há prejuízo significativo na identificação das áreas prioritárias para ações de manejo e conservação dos solos.

2.2.2 Fator Erodibilidade K

A erodibilidade do solo representa sua capacidade de resistir à erosão provocada pela água da chuva e corresponde ao fator K da Equação Universal de

Perda de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*). Na prática, esse índice expressa a quantidade de solo (em Mg ha^{-1}) que pode ser perdida para cada unidade de energia erosiva da chuva (fator R da USLE, medido em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$), sendo, portanto, representado em unidades compostas: $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ (EMBRAPA, 2024).

O fator K é considerado uma propriedade complexa do solo, pois depende de várias características físicas e químicas. Entre os principais atributos que influenciam a erodibilidade estão: a textura do solo (proporções de areia, silte e argila), mudanças bruscas de textura ao longo do perfil do solo, que interrompem o fluxo de água, tipo de estrutura (forma como as partículas se organizam e se agregam), teor de matéria orgânica, permeabilidade (capacidade de infiltração da água), profundidade efetiva (camada utilizável para o crescimento das raízes), além da presença de camadas compactadas (como horizontes coesos ou endurecidos) e o grau de pedregosidade e rochosidade da área (WISCHMEIER; SMITH, 1978; RAMALHO FILHO; BEEK, 1995 APUD EMBRAPA, 2024).

De acordo com Matos (2015) a erodibilidade do solo pode ser determinada por três métodos distintos. O primeiro consiste na medição do fator K diretamente em campo, sob a ação de chuvas naturais. Embora forneça resultados consistentes, esse procedimento demanda tempo e recursos, tornando-se menos viável em estudos de larga escala. O segundo método também se baseia em condições experimentais, mas utiliza chuvas simuladas para quantificar o fator K a partir da relação entre a perda de solo e a erosividade das precipitações. Ambos os métodos são considerados padrões, por representarem fielmente a abordagem original da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), sendo, por isso, classificados como métodos de determinação direta.

O terceiro método, por sua vez, adota uma abordagem estatística. Ele utiliza modelos de regressão múltipla com variáveis independentes relacionadas a atributos do solo — como características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas — que se correlacionam com os valores de K obtidos pelos métodos diretos. Essa técnica é conhecida como determinação indireta e tem sido aplicada em estudos pela dificuldade de se obter dados em campo (DE FARIA GODOI et. al ,2021).

Contudo, a simples determinação do fator de erodibilidade não é suficiente para orientar decisões sobre o uso e manejo do solo em áreas agrícolas. Para uma gestão mais eficiente, é essencial mapear espacialmente os resultados obtidos. A aplicação de ferramentas de geoprocessamento e sistemas de informação geográfica (SIGs)

permite organizar bancos de dados, realizar análises e representar graficamente a distribuição da erodibilidade no território estudado. Essa abordagem facilita a identificação de áreas mais vulneráveis e a definição de estratégias de conservação do solo (BARROS, 2017).

2.2.3 Fator Declividade e Comprimento de Rampa LS

O fator topográfico (LS) constitui um elemento central na Equação Universal de Perda de Solo (USLE), quantificando a influência combinada do comprimento da rampa (L) e da declividade (S) nos processos erosivos. Desenvolvido originalmente por Wischmeier e Smith (1978), este parâmetro representa a ação da topografia na aceleração do escoamento superficial e no transporte de sedimentos.

O comprimento da rampa, definido como a distância entre o início do escoamento e o ponto de deposição ou canalização (SANTOS; QUEIROZ, 2021), exerce influência direta na dinâmica erosiva. Embora percas de água possam diminuir ao longo de rampas mais extensas devido ao maior tempo de infiltração, o movimento uniformemente acelerado aumenta significativamente a capacidade de transporte de sedimentos, elevando consequentemente as perdas de solo (BERTONI, 1959).

A declividade do terreno representa outro componente crítico do fator LS, sendo diretamente proporcional à energia cinética do escoamento. Terrenos mais íngremes promovem maior velocidade das enxurradas, reduzindo a infiltração e intensificando o escoamento superficial (BERTONI, 1959).

A abordagem tradicional de cálculo do LS, proposta inicialmente por Wischmeier e Smith (1978), apresenta limitações significativas quando aplicada a relevos complexos ou com características atípicas. Para superar essas limitações, modelos semi-empíricos e conceituais baseados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido desenvolvidos, representando avanços significativos na predição de perdas de solo.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) surgem como ferramentas essenciais nestes novos enfoques metodológicos. Eles substituem o conceito tradicional de comprimento de rampa pelo cálculo da área de contribuição à montante para cada célula (pixel), permitindo a definição precisa dos padrões de drenagem através da análise dos fluxos de direção e acumulação do escoamento superficial (DESMET E GOVERS, 1997). Esta abordagem mostrou-se particularmente eficaz em relevos de

geometria complexa, onde métodos convencionais falham em representar adequadamente os processos erosivos (OLIVEIRA et al., 2013).

2.2.4 Fator de Uso e Manejo do Solo C

O Fator C, ou fator de uso e manejo do solo, é um componente crucial da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e de sua versão revisada (RUSLE), refletindo a influência da cobertura vegetal e das práticas de manejo na suscetibilidade do solo à erosão. Ele representa a relação entre a perda de solo de um terreno sob um determinado uso e manejo e a perda de solo de um terreno idêntico, porém mantido continuamente descoberto (WISCHMEIER; SMITH, 1978; PINESE JUNIOR et al., 2008).

Essencialmente, quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menor será a perda de solo, pois a vegetação atua como uma barreira protetora (PINESE JUNIOR et al., 2008).

A cobertura vegetal desempenha um papel fundamental na prevenção da erosão hídrica, pois dissipa a energia cinética das gotas de chuva antes que atinjam diretamente a superfície do solo. Além disso, a vegetação contribui para a redução do escoamento superficial, que é influenciado pelo relevo (WISCHMEIER; SMITH, 1978). As implicações da cobertura vegetal na proteção do solo incluem (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012):

- Proteção direta: Atua contra o impacto das gotas de chuva.
- Dispersão da água: Intercepta e evapora as gotas de chuva antes que cheguem ao solo.
- Aumento da infiltração: A decomposição das raízes das plantas forma canalículos no solo, facilitando a infiltração da água.
- Melhora da estrutura do solo: A adição de matéria orgânica aumenta a capacidade de retenção de água e melhora a estrutura do solo.
- Redução da velocidade do escoamento: O aumento do atrito superficial diminui a velocidade do escoamento da água.

A determinação do Fator C pode ser realizada por meio de equações que consideram diversas variáveis relacionadas à vegetação e ao manejo. Por exemplo, Renard et al. (1997) propuseram a seguinte equação:

$$C = \frac{\Sigma SLR.EI_{30}(ij)}{\Sigma EI_{30}(ij)} \quad (4)$$

$$SLR = PLU.CC.SC.SR.SM \quad (5)$$

Onde:

Uso anterior da terra (PLU)

Cobertura do solo pelas copas (CC)

Cobertura superficial do solo por plantas ou resíduos em contato direto (SC)

rugosidade superficial do solo (SR)

umidade do solo (SM).

No entanto, a utilização das equações originais para a obtenção do Fator C apresenta limitações significativas. A aquisição de uma extensa base de dados necessária para essa quantificação é complexa e onerosa, especialmente em áreas sem dados pré-existentes. Devido a essa dificuldade, é comum que se utilize valores de Fator C disponíveis na literatura para áreas onde a obtenção empírica seria inviável ou muito custosa (SILVA et al., 2007).

2.2.5 Fator de Práticas Conservacionistas P

O Fator P, ou fator de práticas conservacionistas, é outro componente essencial da Equação Universal de Perda de Solo (USLE/RUSLE). Ele quantifica a eficácia das práticas de manejo adotadas para reduzir a erosão do solo. Especificamente, o Fator P representa a relação entre a perda de solo de culturas cultivadas com uma determinada prática conservacionista e a perda de solo de culturas plantadas no sentido do declive (morro abaixo) (WISCHMEIER; SMITH, 1978; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

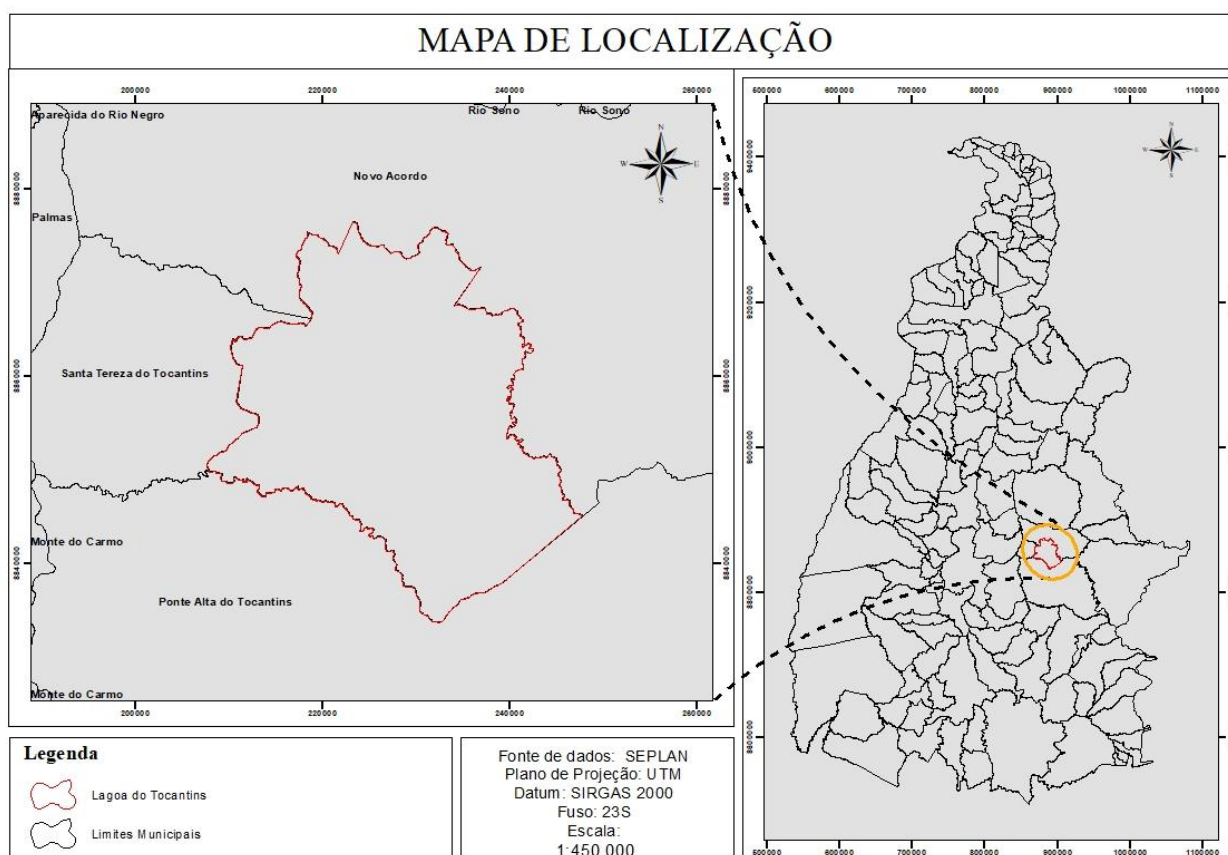
Esse fator varia de 0 a 1, onde valores menores indicam maior eficiência das práticas conservacionistas na redução da erosão hídrica. Este fator reflete como práticas de manejo como plantio em contorno, plantio em faixas, terraceamento, entre outras, juntamente com as características da superfície do solo, contribuem para mitigar a erosão (OLIVEIRA, 2011).

2.3 Caracterização Da Área

O município de Lagoa do Tocantins encontra-se estrategicamente localizado

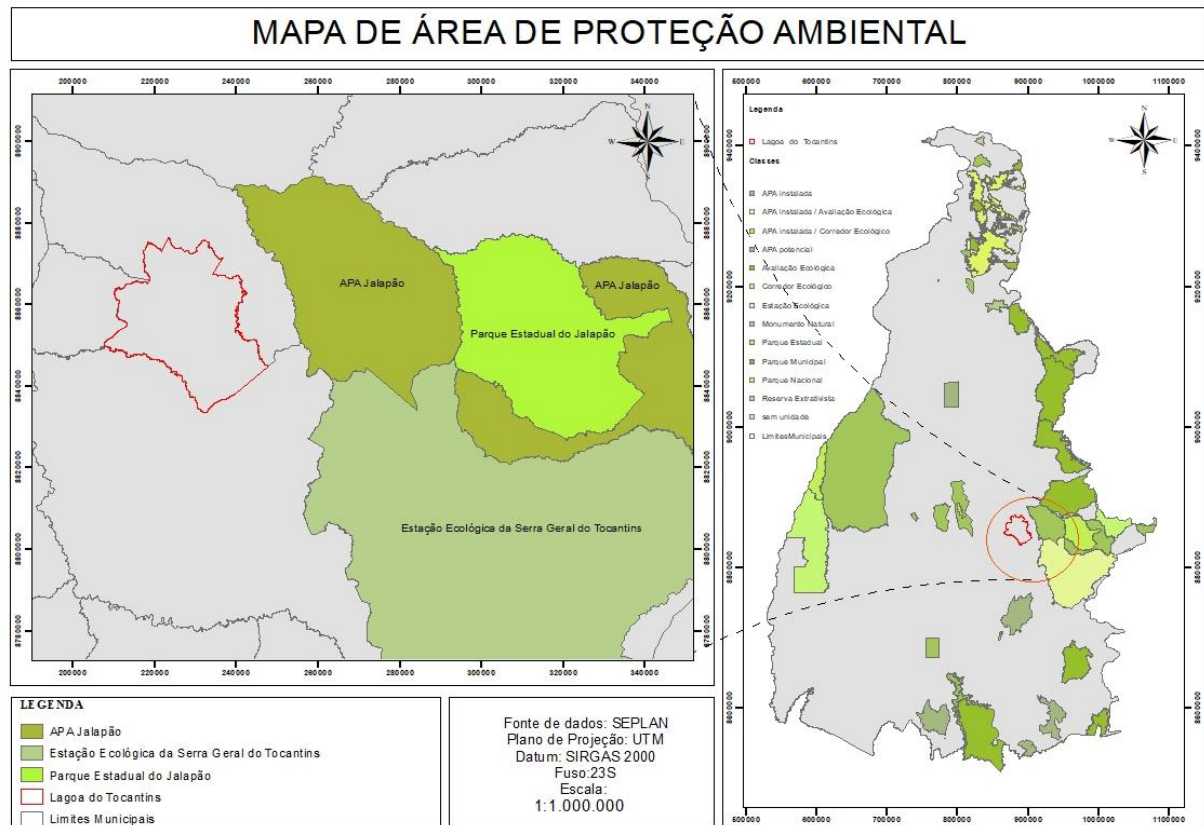
na região central do estado do Tocantins, fazendo parte da mesorregião Oriental do Tocantins e da microrregião do Jalapão (mapa 1). Suas coordenadas geográficas aproximadas são 10°22'40" S de latitude e 47°33'03" O de longitude (CIDADE BRASIL, 2024). A área territorial do município abrange 917,632 km² (IBGE, 2024), o que o posiciona como um município de considerável extensão no cenário estadual. Essa localização privilegiada proporciona proximidade com ecossistemas e áreas de conservação de grande importância, como o Parque Estadual do Jalapão (mapa 02).

Mapa 01 – Mapa de Localização



Fonte: Autora, 2025.

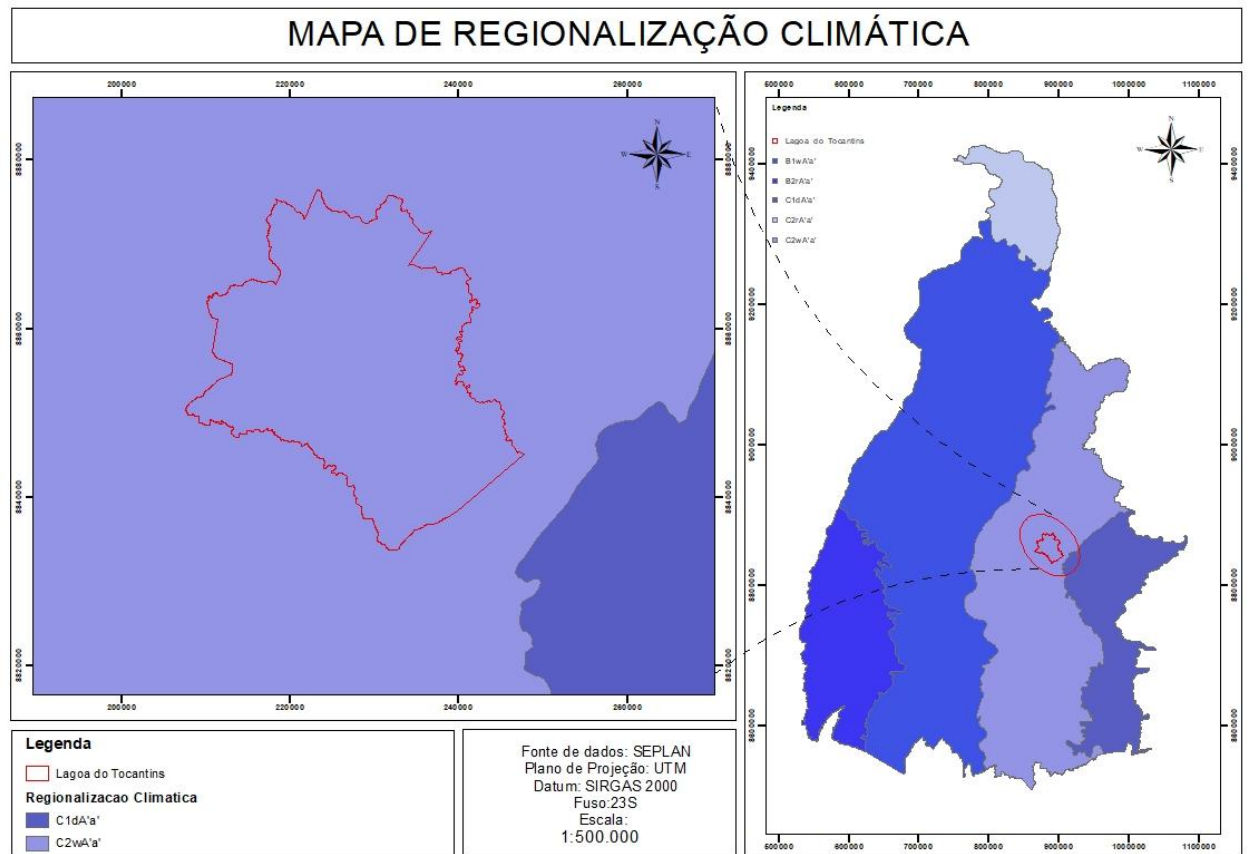
Mapa 02 – Mapa de APA



Fonte: Autora, 2025.

O clima predominante no município é tropical semiúmido, classificado como Aw de acordo com a classificação climática de Köppen (CLIMA TEMPO, 2025). Esse padrão climático é marcado por duas estações distintas ao longo do ano: um período chuvoso, que geralmente se estende de outubro a abril, e uma estação seca, que ocorre de maio a setembro. As temperaturas médias anuais são consistentemente elevadas, com pouca oscilação térmica sazonal, característica de regiões tropicais. De acordo com o mapa 03, o clima da área de estudo é C2wa'a', caracterizado como clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica (COLLICCHIO et al. 2022).

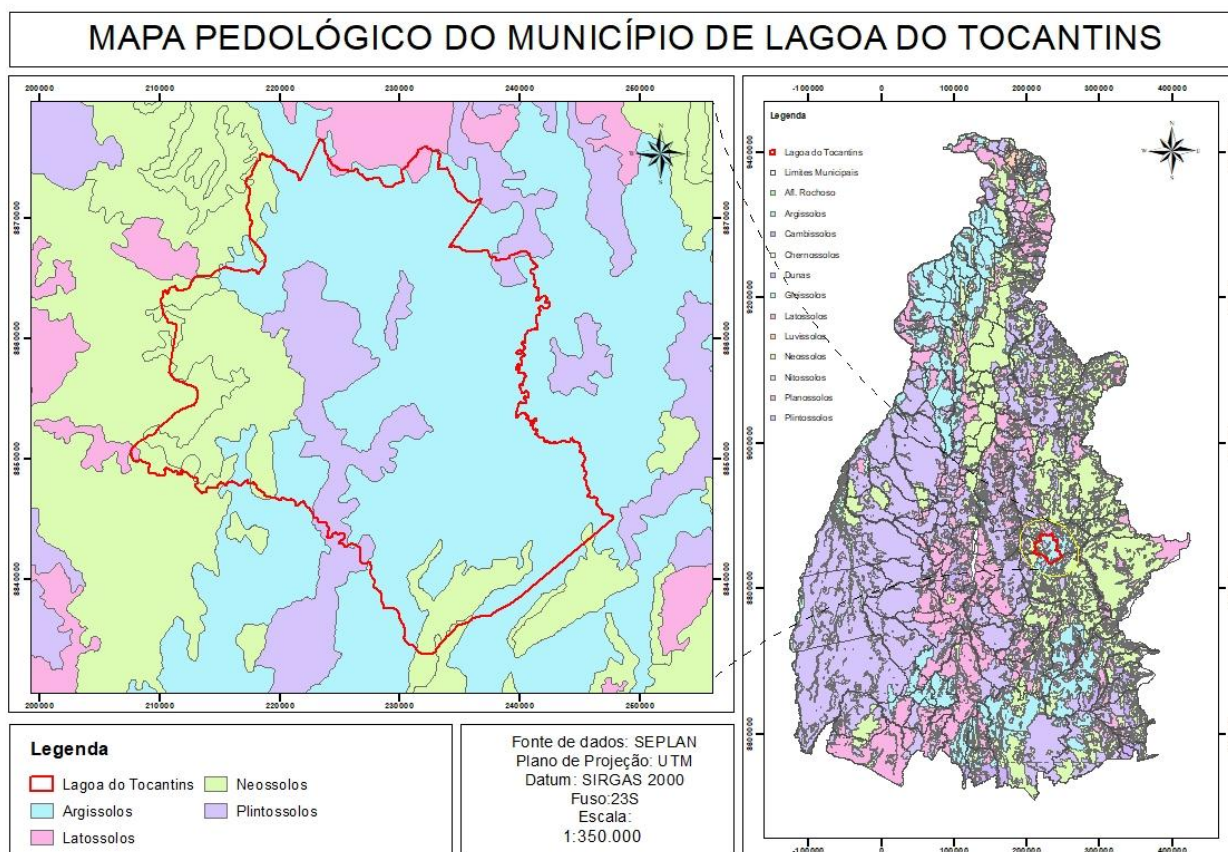
Mapa 03 – Mapa de Clima



Fonte: Autora, 2025.

A área de estudo está inserida no bioma Cerrado, onde a vegetação exhibe grande heterogeneidade, variando desde formações campestres, como campos limpos e sujos, até formações florestais, como o cerradão e as matas de galeria. No município, essas diversas fisionomias estão presentes, com predominância de áreas de savana e formações florestais mais densas acompanhando os cursos d'água (IBGE, 2012). Adicionalmente, de acordo com o mapa de solos (mapa 4), os tipos de solo identificados na região incluem: Argissolos, Latossolos, Neossolos e Plintossolos.

Mapa 04 – Mapa de Solos



Fonte: Autora, 2025.

Ademais, de acordo com o nível 2 na classificação de solos do banco de dados da SEPLAN (2012), a classificação é mais detalhada, sendo: Plintossolos, Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólicos e Latossolos Vermelho Amarelo.

Os Plintossolos, conforme a definição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), são solos formados por materiais minerais que contêm horizontes plínticos, litoplínticos ou concrecionários, resultantes da segregação localizada de ferro, que atua como agente cimentante. Além disso, esses solos são fortemente ácidos e, em sua maioria, apresentam baixa saturação por bases, embora também existam formas eutróficas. Devido às suas condições de drenagem imperfeita ou má drenagem, são frequentemente encontrados em regiões de clima quente e úmido, especialmente onde há alternância entre períodos secos e chuvosos. Tais características impõem limitações ao seu uso agrícola, principalmente devido à acidez elevada e à baixa fertilidade natural. Contudo, em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado, podem demonstrar potencial agrícola, sobretudo para culturas como o arroz irrigado (EMBRAPA, 2013).

Por outro lado, os Latossolos Amarelos têm sua origem em materiais sedimentares argilosos ou areno-argilosos. Esses solos se distinguem pela coloração amarelada uniforme e pela textura, que é geralmente argilosa ou muito argilosa. Outra característica notável é a alta coesão dos agregados, conferindo-lhes grande estabilidade estrutural. Graças a essas propriedades, eles exibem boas condições de retenção de umidade e excelente permeabilidade. No entanto, apesar dessas vantagens, é importante ressaltar que podem apresentar problemas de compactação, especialmente quando manejados inadequadamente, e limitações químicas em profundidade, exigindo cuidados específicos para um uso sustentável (EMBRAPA, 2021).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos, por sua vez, estão entre os solos mais amplamente distribuídos no território brasileiro. Sua principal característica é a presença de um horizonte B textural (Bt), que possui um teor de argila superior ao da camada superficial. Essa transição abrupta na textura contribui para sua suscetibilidade à erosão, particularmente em áreas de relevo mais acidentado, onde são comumente encontrados. Além disso, sua coloração deriva da presença de óxidos de ferro, como hematita e goethita. Em relação ao uso agrícola, esses solos apresentam limitações relacionadas à acidez elevada e à baixa fertilidade, demandando práticas conservacionistas e correções químicas (EMBRAPA, 2021).

Já os Neossolos Quartzarênicos são caracterizados por sua textura predominantemente arenosa em todo o perfil e coloração amarelada uniforme. São solos profundos, geralmente situados em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado. Embora o risco de erosão hídrica seja reduzido nessas condições topográficas, a textura arenosa aumenta significativamente sua vulnerabilidade, especialmente em áreas expostas. Adicionalmente, apresentam baixos teores de matéria orgânica, fósforo e micronutrientes, além de alta suscetibilidade à lixiviação de nitrato (EMBRAPA, 2021).

No que diz respeito aos Neossolos Litólicos, são solos muito rasos, com a rocha-mãe próxima à superfície e espessura inferior a 50 cm. Estão frequentemente associados a áreas de relevo acidentado e, por essa razão, impõem sérias restrições ao uso agrícola, como o limitado desenvolvimento radicular, dificuldade de mecanização e alta vulnerabilidade à erosão (EMBRAPA, 2021).

Por fim, os Latossolos Vermelho-Amarelos, amplamente distribuídos pelo território nacional, exibem uma coloração intermediária resultante da combinação de

óxidos de ferro. São solos bem drenados, profundos e estruturalmente homogêneos, características que favorecem a mecanização e o desenvolvimento radicular. Embora sejam extensivamente utilizados na agropecuária, sua baixa fertilidade natural e a reduzida capacidade de retenção de água representam limitações que exigem adubação fosfatada e correções químicas para viabilizar seu pleno aproveitamento agrícola. Ainda assim, sua profundidade e boa porosidade os tornam valiosos, especialmente quando apresentam alta fertilidade (EMBRAPA, 2021).

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa inicia-se a partir do trabalho de mapeamento e classificação da suscetibilidade aos movimentos gravitacionais de massa, cuja escala adotada foi de 1:300.000 para os mapas de R e K e 1:250.000 para mapas de LS e CP a fim de melhorar o detalhamento.

No tocante à montagem da base cartográfica, foram utilizados os arquivos vetoriais e base litológica-estrutural e limites municipais obtidos a partir da base temática da SEPLAN (Secretaria de Planejamento e Orçamento).

Os arquivos matriciais utilizados neste mapeamento foram obtidos nos sites oficiais ASSF DAAC (Alaska Satellite Facility) que disponibilizou o Modelo Digital de Elevação corrigido do Alos Palsar de resolução de 12,5 metros.

Os arquivos vetoriais e matriciais foram devidamente processados em ambiente SIG adequado, utilizando-se os softwares Qgis 3.16.4 e Arcmap 10.5, onde foram todos reprojatados para o Datum SIRGAS 2000, projeção UTM Zona 23 sul. O primeiro software citado foi utilizado na laboração dos mapas e o segundo para confecção do layout.

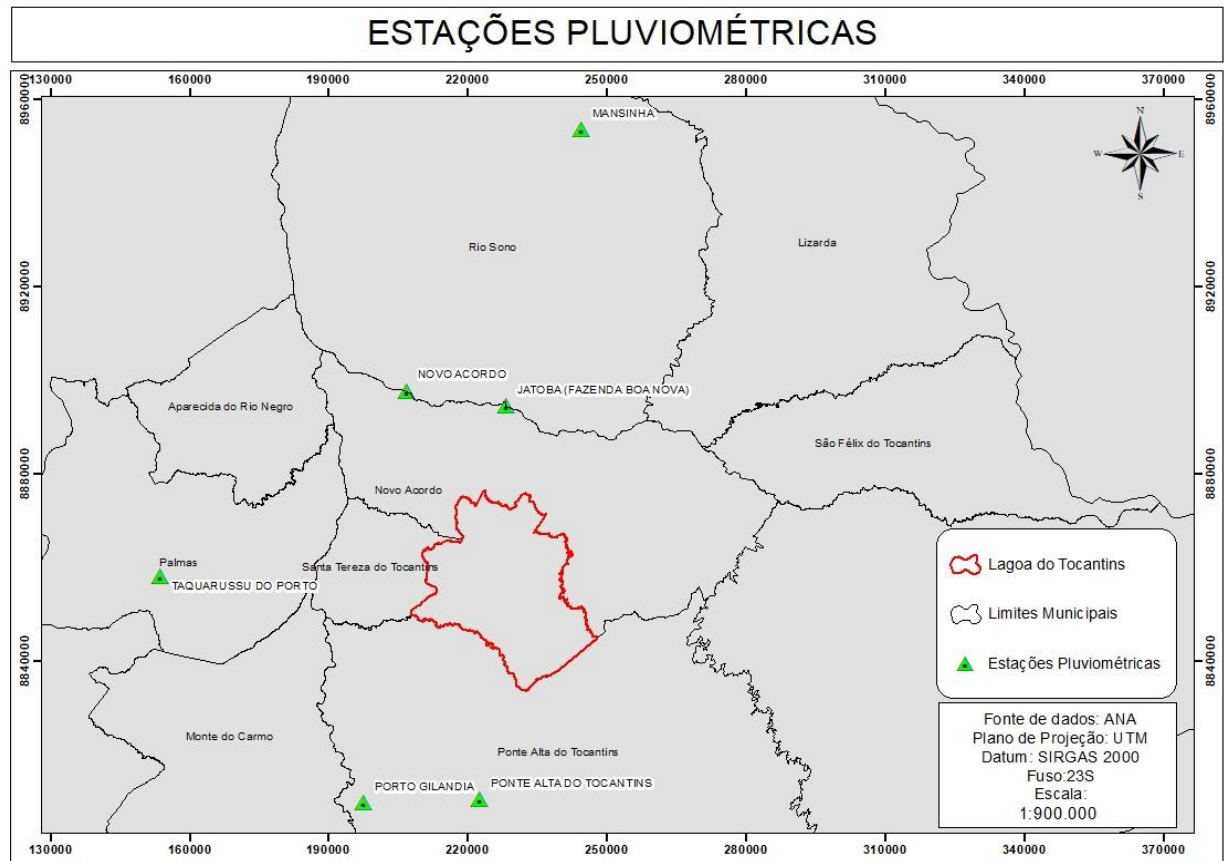
3.1 Fator R

Para a aquisição de dados pluviométricos foi instalado no QGIS versão 3.36 o complemento denominado *ANA Data Acquisition*, que possibilita a obtenção direta de séries históricas de precipitação fornecidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Com base nisso, foram baixados os dados pluviométricos referentes a um período de 30 anos (1994 a 2024) de 22 estações pluviométricas localizadas nas proximidades do município em questão. Vale evidenciar que não foram encontrados registros de estações pluviométricas dentro da área de estudo, sendo necessária a utilização das estações próximas.

Os dados adquiridos foram organizados em planilhas do Microsoft Excel para análise. Durante a análise, identificou-se que das 22 estações coletadas, 16 apresentavam períodos extensos de ausência de medição, as quais eram indicados pelo valor “-1” no campo de precipitação dos arquivos baixados. As séries das estações que não apresentavam medições contínuas ao longo dos anos foram descartadas, resultando na seleção final de 6 estações pluviométricas (mapa 5) com

séries históricas completas e adequadas para análise.

Mapa 05 – Estações pluviométricas



Fonte: Autora, 2025.

Com as séries consistidas, foram calculadas:

- As médias mensais de precipitação para cada mês do ano, utilizando a função *MÉDIASE* no Excel, agrupando os valores por mês.
- As médias anuais também foram calculadas a partir da função *MÉDIASE* no Excel.

Devido à escassez de dados pluviográficos e a necessidade de utilização de modelos empíricos para determinação do EI_{30} , utilizou-se a equação proposta por Silva (2004) para a região norte do Brasil.

$$EI^{30} = 36.849 * \left(\frac{M^2x}{P} \right)^{1.0852} \quad (6)$$

Onde:

EI_{30} = média mensal do índice de erosão ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$);

M^2x = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

Com a equação (6), determinou-se o índice de erosão (EI_{30}) para cada mês analisado, com base em dados de precipitação das estações meteorológicas localizadas nos municípios representados no mapa 5, a partir da soma dos valores mensais de chuva. Aplicando-se a equação 7, obteve-se o fator de Erosividade (R).

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30}^i \quad (7)$$

A planilha Excel em formato .csv contendo coordenadas (tabela 01) e os resultados dos cálculos acima foi importada para o ArcGis versão 10.8, no qual foi realizada a interpolação por *IDW* e gerado o mapa de erosividade.

Tabela 01: Estações pluviométricas e Erosividade

Código	Estações	Latitude	Longitude	R30 ano
947001	Mansinha	-9,4575	-47,3269	10993,1334
1047000	Jatoba (Fazenda Boa Nova)	-9,9906	-47,4786	11163,6307
1047001	Novo Acordo	-9,9606	-47,6747	9820,2579
1047002	Porto Gilandia	-10,7553	-47,7647	9692,8327
1047004	Ponte Alta do Tocantins	-10,7508	-47,5361	10162,9280
1048005	Taquarussu do Porto	-10,3133	-48,1625	11923,4581

Fonte: ANA adaptada pela autora.

O método IDW (Inverse Distance Weighting) aplica a suposição de que o valor de um atributo em um local sem informações é uma média ponderada dos valores dos pontos amostrais ao redor, sendo que a influência de cada ponto é inversamente proporcional à sua distância em relação ao local de interpolação, ou seja, quanto mais próximo o ponto, maior sua influência (PESSOA et al., 2022). De Farias et. Al. (2017) avaliaram métodos de interpolação espacial aplicados a pluviosidade e identificaram que a krigagem, apesar de representar melhor o comportamento espacial, pode não ser adequada na estimativa de dados, quando a variabilidade espacial pluviométrica é alta e o número de estações é insuficiente para geração do semivariograma adequado, sendo a última hipótese a situação existente no presente trabalho.

Para classificação da Erosividade da chuva foram utilizados os dados apresentados no Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa (2023), esses também foram utilizados por Silva (2004).

3.2 Fator K

Para estabelecer a erodibilidade (Fator K), foi necessário obter dados vetoriais de solos disponibilizados pela SEPLAN (2012), na escala de 1:250.000. Após identificar cada classe distribuída na área de interesse, buscou-se na literatura os valores do fator K para associação a cada tipo de solo encontrado na área de estudo (Tabela 2).

Diante das dificuldades previamente apontadas para a obtenção do fator de K do solo, diversos pesquisadores têm buscado estabelecer estimativas mais representativas desse parâmetro em diferentes regiões do Brasil e em distintas escalas de análise, levando em consideração as especificidades edafoclimáticas locais (BARROS, 2017). Dessa forma, para a definição do fator K no presente estudo, foram utilizados dados provenientes de investigações realizadas em solos com propriedades semelhantes às observadas na área de estudo, como os apresentados por Batista e Cabral (2021), os quais foram obtidos através de trabalhos de campo com coletas conduzidas em perfis e sondagem em Palmas-TO.

O último passo foi transformar a base de solo do formato shapefile para o formato raster. Assim, o mapa de solos em formato raster foi reclassificado, substituindo-se as informações de classe de solos pela informação de erodibilidade (K) ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Todos esses procedimentos foram executados através do *software* QGIS versão 3.36.

Tabela 2 – Fator de erodibilidade (K) para diferentes classes de solos

Tipo de Solo	Fator K ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)	Fonte
Plintossolos	0,014	Batista e Cabral (2021)
Latossolos Amarelos	0,017	Carvalho (2014) apud Barros (2017)
Argissolos Vermelho-Amarelo	0,032	Carvalho (2014) apud Barros (2017)
Neossolos Quartzarênicos	0,031	Carvalho (2014) apud Barros (2017)
Neossolos Litólicos	0,049	Batista e Cabral (2021)
Latossolos Vermelho-Amarelo	0,014	Batista e Cabral (2021)

Fonte: Batista e Cabral, 2021 adaptado pela autora.

3.3 Fator LS

O comprimento de rampa e declividade, Fator LS ou Fator topográfico, foi obtido

a partir de dados matriciais do Modelo Digital de Elevação (MDE) corrigido foi gerado pelo sensor *ALOS PALSAR* (2011), com resolução de 12,5 m, disponibilizado pela plataforma *Alaska Satellite Facility* (ASF).

Por meio da utilização do MDE para o cálculo do Fator Topográfico é possível obter o comprimento de rampa e a declividade de forma distribuída em toda a área de estudo.

Respectivamente representados por L e S, os dois fatores foram analisados separadamente na construção da equação universal de perda de solo.

Para o cálculo do fator L (comprimento da rampa), Desmet e Govers (1996) propuseram um algoritmo que automatiza sua estimativa com base no conceito de área de contribuição. Esse método foi desenvolvido para ser aplicado em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE). A equação proposta permite considerar a convergência e divergência do fluxo superficial, proporcionando uma estimativa mais precisa do comprimento efetivo da rampa. A fórmula é expressa da seguinte forma:

$$L_{(ij)} = \frac{\left[(A_{(ij)} - in + D^2)^{(m+1)} - (A_{(ij)} - in)^{(m+1)} \right]}{D^{(m+2)} \times x_{ij}^m \times (22,13)^m} \quad (8)$$

Onde:

L_{ij} = é o fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j);

$A_{i,j} - in$ = área de contribuição da célula em coordenadas (i,j) (m^2);

D = tamanho da célula em metros; 12,5

x = coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenada (i,j);

m = coeficiente função da declividade para a grade de célula com coordenada (i,j).

Para o cálculo do coeficiente β e m utilizou-se a equação proposta por McCool *et al* (1987 e 1989), que é ultimamente adotada como parte da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE). As equações são escritas da seguinte forma:

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (9)$$

Sendo β o quociente entre a erosão em sulcos e entre sulcos podendo ser calculado pela seguinte equação:

$$\frac{\beta=(\sin\theta/0,0896)}{[3(\sin\theta)0,8+0,56]} \quad (10)$$

Para o cálculo do fator de declividade (fator S), foi adotada a equação proposta por McCool et al. (1987; 1989), amplamente utilizada como parte integrante da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE). Essa relação permite estimar o impacto da inclinação do terreno na suscetibilidade à erosão hídrica, ajustando o fator de acordo com o grau da declividade. As equações são definidas da seguinte forma, com base no valor da inclinação do terreno:

Para declividades inferiores a 9%:

$$S = 10,8x \sin\theta + 0,03 \quad (11)$$

Para declividades iguais ou superiores a 9%:

$$S = 16,8x \sin\theta - 0,5 \quad (12)$$

Onde θ é o ângulo de declividade.

O MDE foi importado para o QGIS versão 3.36, onde foi gerado o raster de cada coeficiente, o fator L e o fator S. Em seguida foi multiplicado os fatores L e S para serem analisados juntos.

3.4 Fator CP

Para a determinação do fator de uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (CP), foi utilizada a base cartográfica da Coleção 9 do MapBiomass, referente ao ano de 2023, a qual fornece informações detalhadas sobre o uso e a cobertura da terra em formato raster. Essa base de dados foi essencial para representar espacialmente as diferentes formas de ocupação do solo na área de estudo.

Diante das limitações quanto à obtenção de informações específicas sobre as práticas conservacionistas efetivamente adotadas na região, bem como dos altos custos envolvidos na estimativa individualizada dos fatores C e P, optou-se por utilizar valores compostos (CP) disponíveis na literatura. Esses valores foram atribuídos com base nos tipos de uso e cobertura do solo, conforme apresentados na Tabela 3.

O processamento foi realizado no software QGIS, versão 3.36. Inicialmente, o raster de uso e cobertura da terra foi convertido para vetor, o que possibilitou a

vinculação de cada classe de uso ao respectivo valor de CP. Em seguida, os dados foram novamente convertidos para raster e reclassificados, gerando um mapa temático que representa a distribuição espacial dos valores de CP na área de estudo.

Tabela 3 - fator CP adquirido.

Uso da Terra	Fator CP	Referência
Soja	0,143	BERTOL, I. et al. (2002)
Pastagem	0,1	STEIN, A. et al. (1987)
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,012	FISTAROL, G. L. et al. (2016)
Formação Campestre	0,01	STEIN, A. et al. (1987)
Formação Florestal	0,0004	SOUSA, J. S. (2021)
Formação Savânica	0,0007	SOUSA, J. S. (2021)
Mosaico de Usos	0,15	STEIN, A. et al. (1987)
Outras lavouras temporárias	0,01	BERTOL, I. et al. (2002)
Outras áreas não vegetadas	1	- (valor assumido padrão na literatura)
Rio, Lago e Oceano	0	- (superfícies hídricas sem perda por erosão)
Silvicultura	0,001	STEIN, A. et al. (1987)
Área Urbanizada	0	- (áreas impermeáveis sem erosão laminar significativa)

Fonte: Autora, 2025.

3.5 Mapa de Perda de Solo Anual

A construção de todas as informações tratadas anteriormente foi estabelecida no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) e datum SIRGAS 2000. Imediatamente todos os fatores em formato raster, de resolução espacial de 12,5 metros, foram “recortadas” para a área de estudo. Por fim, foi utilizado a ferramenta *Raster Calculator* do software QGIS 3.36.3 para a multiplicação de todos os fatores da USLE, seguindo a equação 1 a seguir, onde R é o fator de erosividade da chuva, K é o fator de erodibilidade do solo, LS é o fator topográfico e CP o fator de uso, manejo e práticas conservacionais.

$$A = R \times K \times LS \times CP \quad (1)$$

Em seguida, foi gerado mapa de perda de solo anual, o qual foi reclassificado para apresentar as classes qualitativas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O fator Erosividade (R) do município Lagoa do Tocantins variou entre 10.250 e 10.800 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{há}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ conforme mapa 6. Segundo a chave de interpretação apresentada na tabela 04, utilizada pela Embrapa (2023), Carvalho (2008) e Silva (2004), os valores alcançados são classificados como “Muito-alto”.

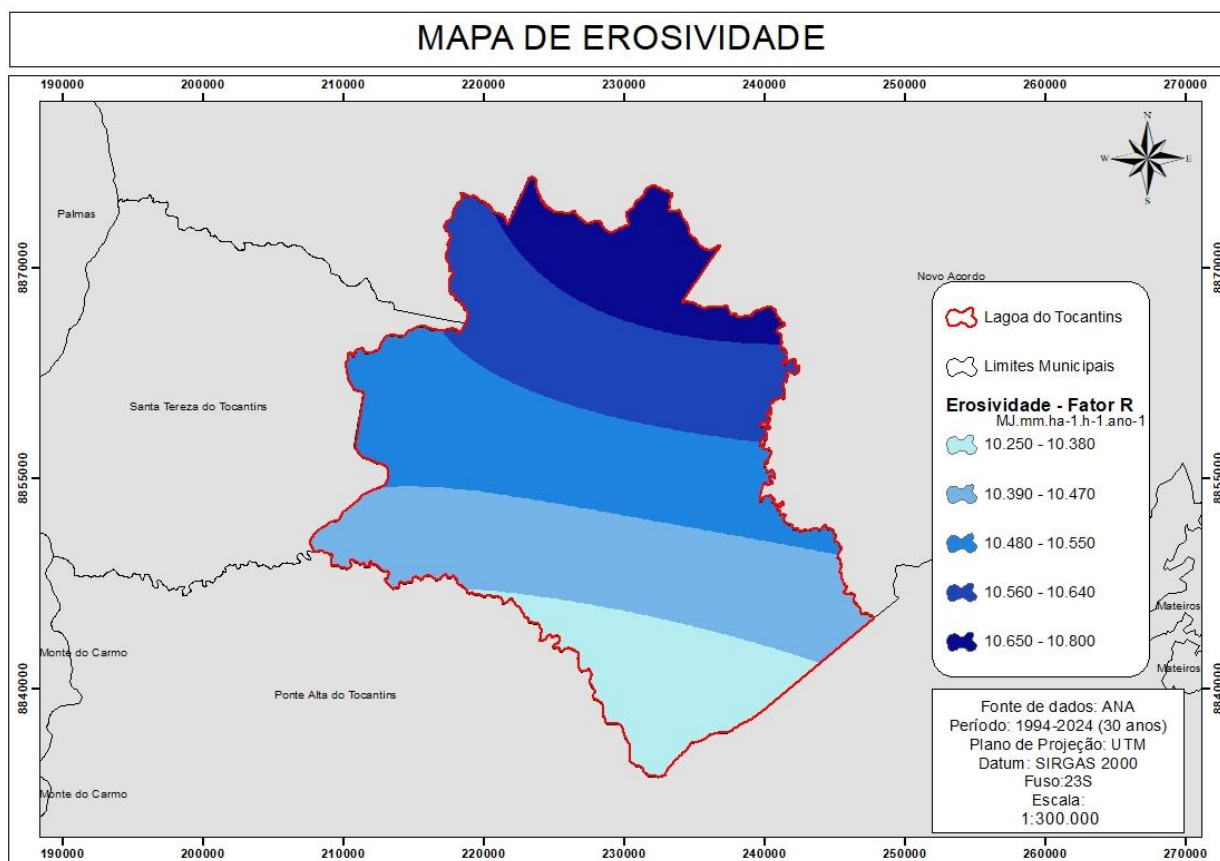
Tabela 4 - Classificação da Erosividade da chuva (Fator R)

Classe	Intervalo de R ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$)
Muito baixa	$R \leq 2.452$
Baixa	$2.453 \leq R \leq 4.905$
Média	$4.906 \leq R \leq 7.357$
Alta	$7.358 \leq R \leq 9.810$
Muito alta	$R > 9.811$

Fonte: Embrapa, 2023 apud de Carvalho 2008.

A Embrapa (2023), na elaboração do mapa de erosividade das chuvas do Brasil, apresentou o estado do Tocantins com erosividade classificada como “muito-forte”, estando compatível com os resultados apresentados neste trabalho. Silva Neto et al. (2022), os quais fizeram um estudo na bacia do Rio Manoel Alves da Natividade, Tocantins, também encontraram valores semelhantes que variaram entre 8.332 e 14.403 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{há}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Ademais, o resultado do fator R também apresentou coerência com os resultados obtidos por Viola et al. (2014), considerando a erosividade para todo o estado do Tocantins, entre 6,599 e 14.000 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{há}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

Mapa 6 – Mapa de Erosividade



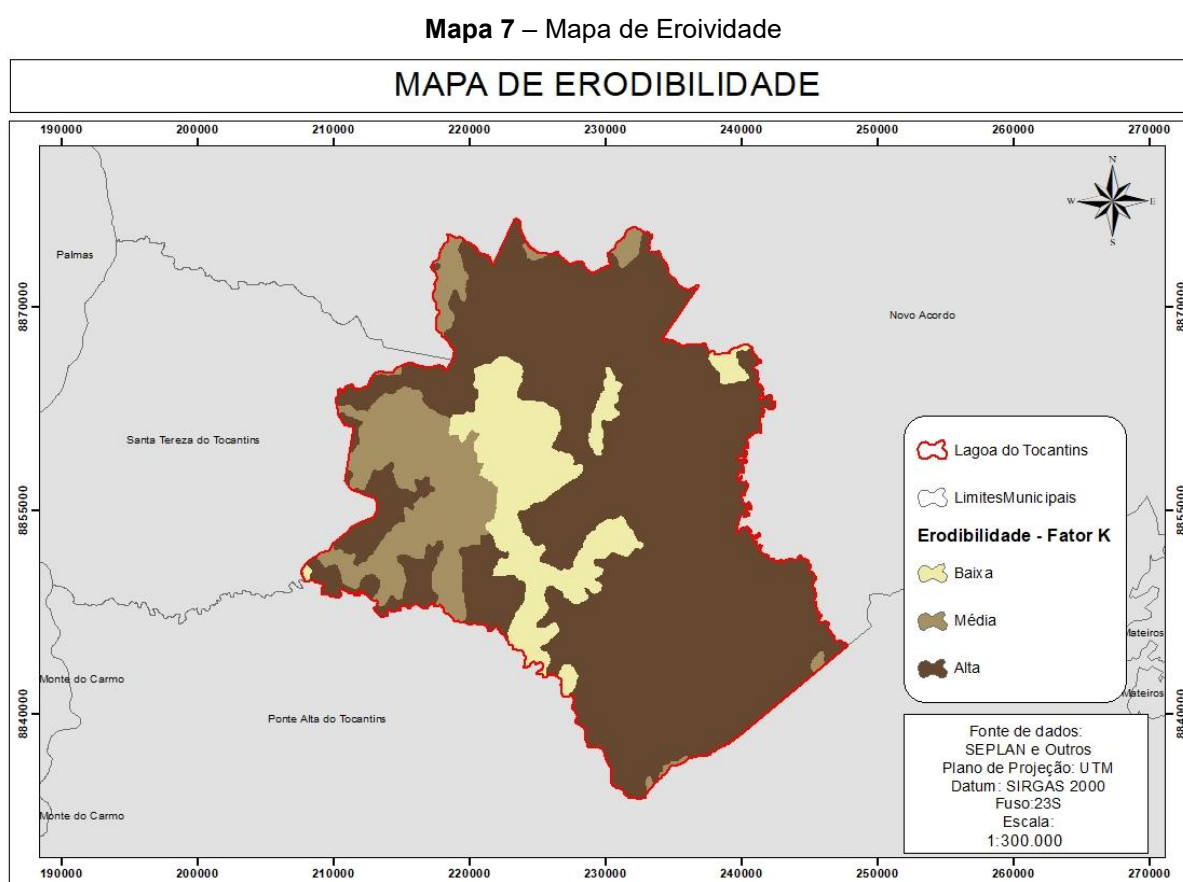
Fonte: Autora, 2025.

Conforme observado no mapa de erosividade (mapa 6), o poder erosivo das precipitações ao longo dos anos de 1994 a 2024, totalizando 30 anos de chuva, foi mais concentrado na porção norte. Nesse sentido, os elevados valores observados decorrem da significativa intensidade pluviométrica da área de estudo, a qual apresenta uma sazonalidade moderada no regime de chuvas, com dois períodos bem definidos: um período chuvoso, que se estende de outubro a abril, e um período seco, de maio a setembro (VIOLA et al., 2014). Outro fator climático relevante que influencia a intensidade pluviométrica na região é a oscilação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Essa zona de baixa pressão atmosférica, que se desloca sazonalmente em direção ao sul durante o verão austral, é responsável por promover intensa atividade convectiva e precipitações volumosas, especialmente nos meses de verão (REBOITA ET AL., 2010; PEREIRA et al., 2024).

Assim, considera-se que os valores de erosividade da chuva estimados neste estudo são adequados, uma vez que apresentam semelhança com os resultados obtidos em pesquisas anteriores realizadas na mesma região, o que reforça a

confiabilidade dos dados utilizados.

Quanto ao Fator K, que leva em consideração a intensidade da precipitação, é possível observar através do mapa 7 que a erodibilidade da região variou de 0,014 a 0,049 $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$. Para mensurar a intensidade da possibilidade de erosão do solo, utilizou-se da chave de identificação da tabela 5, disponibilizada pela Embrapa (2024), a qual mostrou que o fator K apresentou um comportamento heterogêneo na área de estudo, pois variou de baixo a alto.



Fonte: Autora, 2025.

Tabela 5 – Classes de erodibilidade do solo (Fator K)

Classe	Intervalo do Fator K ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)
Baixa	$K < 0,0150$
Média	$0,0150 \leq K < 0,0300$
Alta	$K \geq 0,0300$

Fonte: Embrapa (2024).

Com base no mapa do fator (mapa 7), a área mais escura representa o índice de erodibilidade mais crítico, estando entre 0,033 e 0,049 $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

Esses valores estão representando o Neossolo Litólico, Neossolos Quartzarenico e Argissolo Vermelho-Amarelo, classes de solo que cobrem uma área de 79.589 ha da área de estudo. Já as áreas mais claras representam o índice baixo do fator K, variando de 0,014 a 0,032 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Esse intervalo abrange os Plintossolos, Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos que ocupam juntos 12.502 ha de área.

De acordo com a Embrapa (2024) os Neossolos litólicos são mais suscetíveis a erosão devido a textura arenosa e a pequena profundidade. Já os Argissolos, são identificados como médio à alto na sua classe de erodibilidade, sendo o Argissolo Vermelho-Amarelo classificado como alto, devido a sua diferença textural acentuada e textura arenosa na superfície. Esses fatores possuem influência direta no aumento da erodibilidade do município de Lagoa do Tocantins.

De modo geral, os Latossolos e os Plintossolos Pétricos apresentaram baixos índices de erodibilidade, sendo classificados como solos com baixa a muito baixa suscetibilidade à erosão. Isso indica que esses tipos de solo possuem maior resistência à desagregação e ao transporte de partículas pelos agentes erosivos. Essa resistência está fortemente relacionada à elevada estabilidade dos agregados, característica essencial que influencia diretamente os processos erosivos. Solos que apresentam maior estabilidade estrutural tendem a ser menos suscetíveis à erosão, resultando em valores reduzidos de erodibilidade (WU et al., 2023).

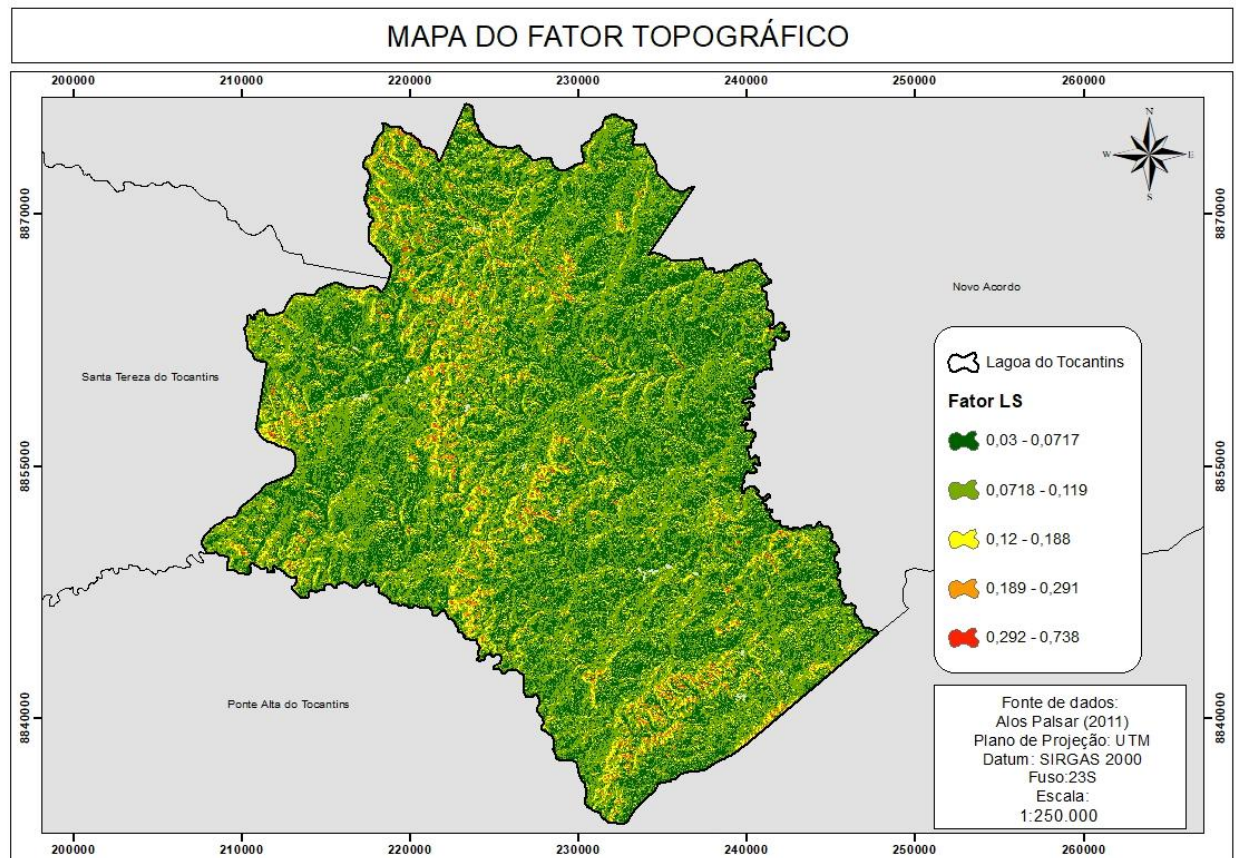
Com base no mapa de erodibilidade de solos elaborado pela Embrapa em 2022, o solo do município apresenta “média” e “alta” erodibilidade. Já o mapa elaborado pela SEPLAN, apresenta classificação 2, 3 e 4 para o município em questão, assim, considerando a seguinte classificação: 1 – muito baixa, 2 – baixa, 3 – média, 4 – alta e 5 – muito alta, ver-se que a erodibilidade variou conforme os resultados encontrados no estudo, onde a erodibilidade encontrada foi “baixa”, “média” e “alta”.

Quanto ao fator LS ou fator topográfico, apresentou valores que variam de 0,03 a 0,738. Conforme observado no mapa 8, as cores verdes representam valores relativamente baixos, enquanto as cores amarelas e laranjadas representam os valores mais elevados, considerando os valores mínimos e máximos em relação ao potencial erosivo de LS.

O fator topográfico tem grande relevância na análise da erosão, pois o relevo exerce influência direta na dinâmica do escoamento superficial. A declividade do

terreno afeta tanto o volume quanto a velocidade da água que escoar sobre a superfície, aumentando o potencial de desprendimento e transporte de partículas do solo. (Donzeli, P. L. Et al., 2006).

Mapa 8 – Mapa do fator topográfico



Fonte: Autora, 2025.

De acordo com McCool et al. (1987) a perda de solo sofre maior influência da declividade do que do comprimento de rampa. Dessa forma, conforme o mapa 9, ver-se que a declividade variou de 0,03 a 10%, sendo as áreas mais escuras os pontos mais altos do relevo. Assim é possível observar que os maiores valores do fator topográfico estão localizados nas áreas de maior declividade, onde o escoamento superficial alcança maior velocidade.

Com base na chave de classificação da Embrapa (2018), o relevo da área de estudo pode variar de plano a ondulado, conforme tabela 06.

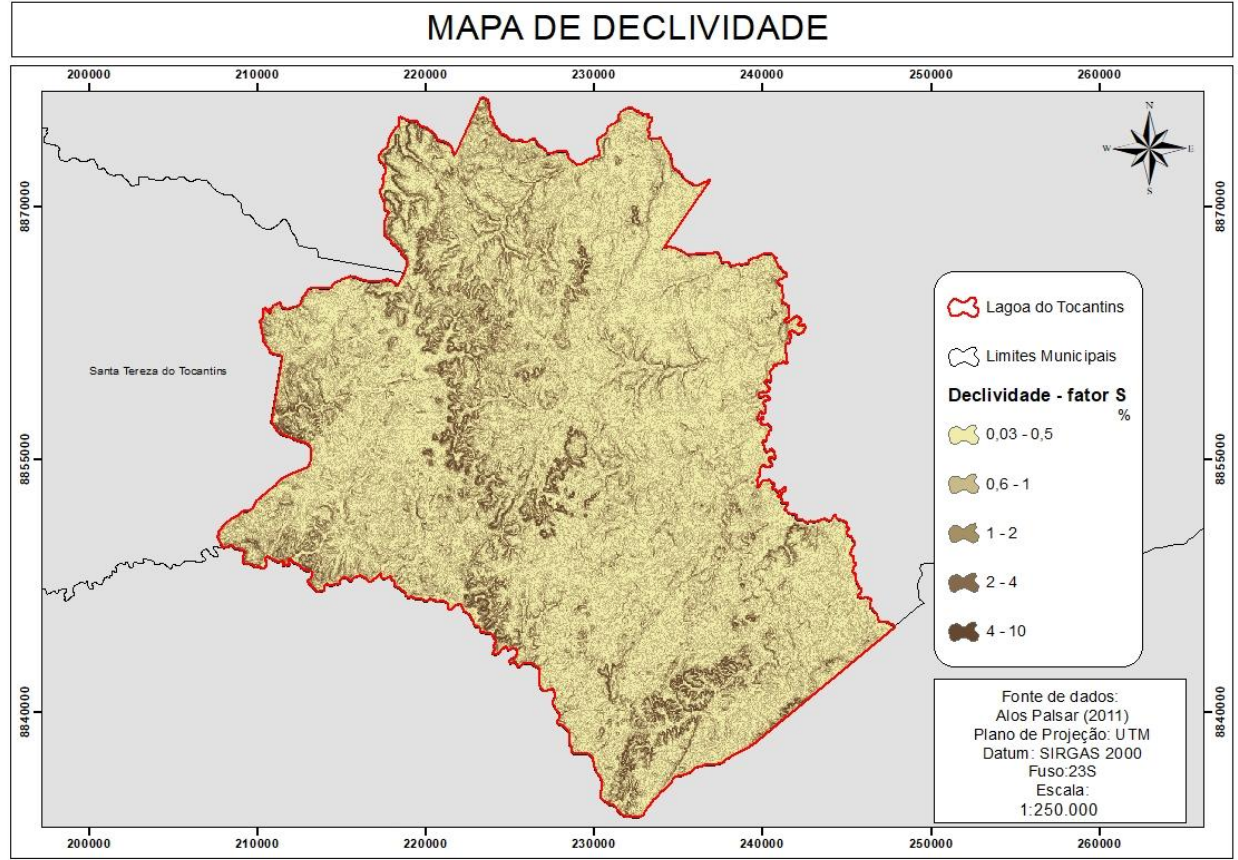
Tabela 06 – Grau de declividade na área de estudo.

Declividade (%)	Classificação do Relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte ondulado
> 45	Montanhoso

Fonte: Embrapa, 2018.

As áreas com declividades mais baixas (classes amarelas muito clara e amarela clara) são predominantes no mapa, cobrindo extensas porções do território. Essas regiões correspondem a áreas de relevo suavemente ondulado, onde o escoamento da água é mais lento e difuso, permitindo maior infiltração e reduzindo o risco de erosão superficial. As áreas de transição entre as diferentes classes de declividade podem indicar mudanças abruptas no relevo, como o início de encostas ou a proximidade de cursos d’água que esculpem o terreno.

Mapa 9 – Mapa de Declividade



Fonte: Autora, 2025.

De acordo com a SEPLAN (2012), conforme mapa 10, o município de Lagoa

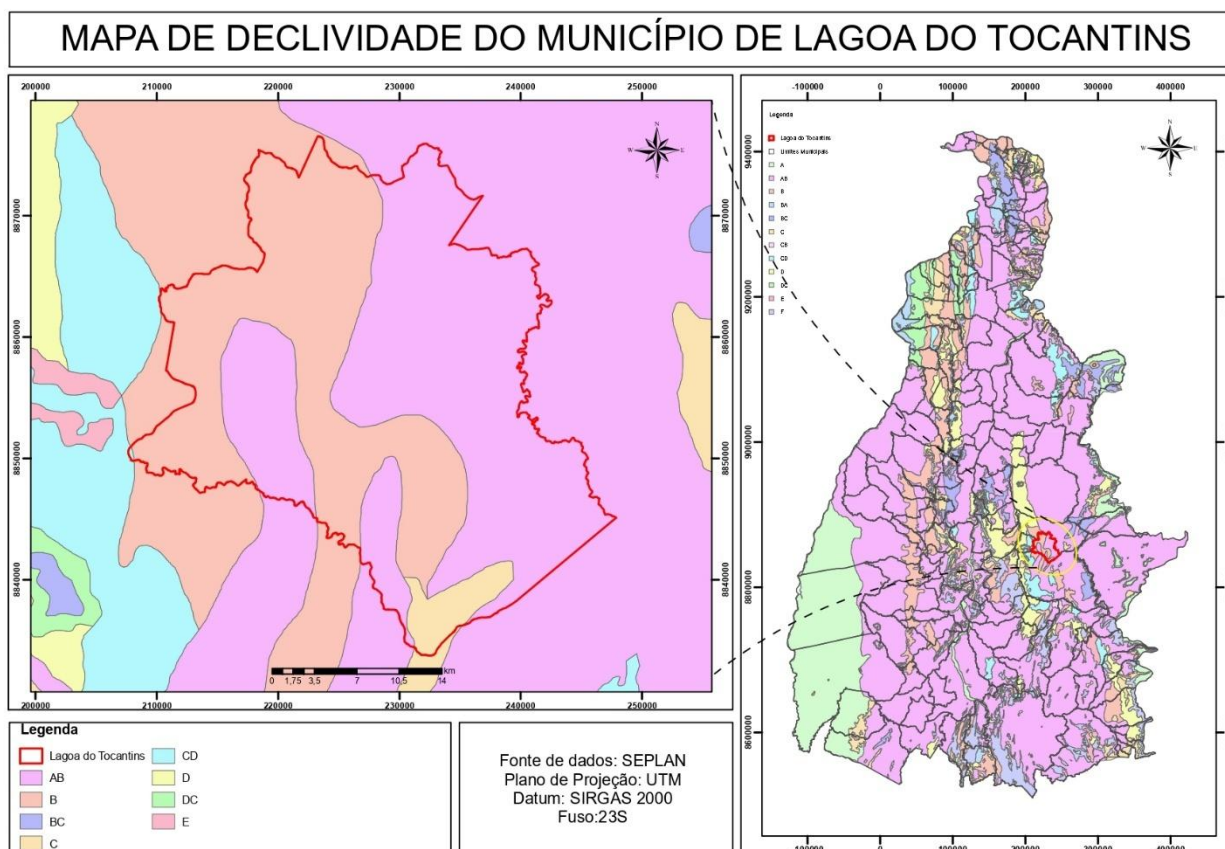
do Tocantins possui declividade AB (predomínio de A sobre B), B e C, os quais possuem as seguintes características:

- **Classe A (declive $\leq 5\%$):** Áreas com relevo suave predominam, o que favorece o escoamento superficial lento ou moderado na maioria dos solos.
- **Classe B (declive $> 5\%$ e $\leq 10\%$):** Nessas áreas, o relevo costuma ser mais inclinado e ondulado, o que torna o escoamento superficial médio a rápido.
- **Classe C (declive $> 10\%$ e $\leq 15\%$):** Áreas com relevo mais acentuado ou colinoso, caracterizadas por escoamento superficial rápido.

Os valores disponibilizados pela SEPLAN estão de acordo com os desenvolvidos neste estudo, validando assim a acurácia do fator e S e consequentemente do fator LS.

No estudo da Embrapa, realizado por Bognola (1997), também destaca que o Estado do Tocantins apresenta uma predominância de relevos planos a suave/ondulados, com declividades médias inferiores a 12%, nas áreas cultivadas. Essa observação corrobora os resultados do mapa fornecido, que mostra uma grande extensão de áreas com declividade abaixo de 10%.

Mapa 10 – Mapa de Declividade SEPLA



Fonte: Autora, 2025.

Ademais, a metodologia adotada para o cálculo do fator LS neste estudo permite resultados mais precisos na identificação das variações topográficas entre as unidades de relevo da área. Isso se deve ao fato de que o método fornece valores de LS de forma contínua, célula a célula, em toda a área analisada, capturando com maior fidelidade as nuances do relevo local (BARROS, 2017).

O mapa 11 exprime as áreas de uso e ocupação do solo do município em questão, as quais estão caracterizadas no quadro 01.

Em 2023, o município de Lagoa do Tocantins apresentava 74,1% de sua área coberta por vegetação natural, dos quais 67,4% correspondiam a Formações Florestais e 6,7% a Áreas Naturais não florestais. As atividades agropecuárias ocupavam 25,1% do território, distribuídas em 15,6% de áreas de pastagem, 3,1% de agricultura, 0,01% de silvicultura e 6,5% classificados como mosaico de usos (MAPBIOMAS, 2023).

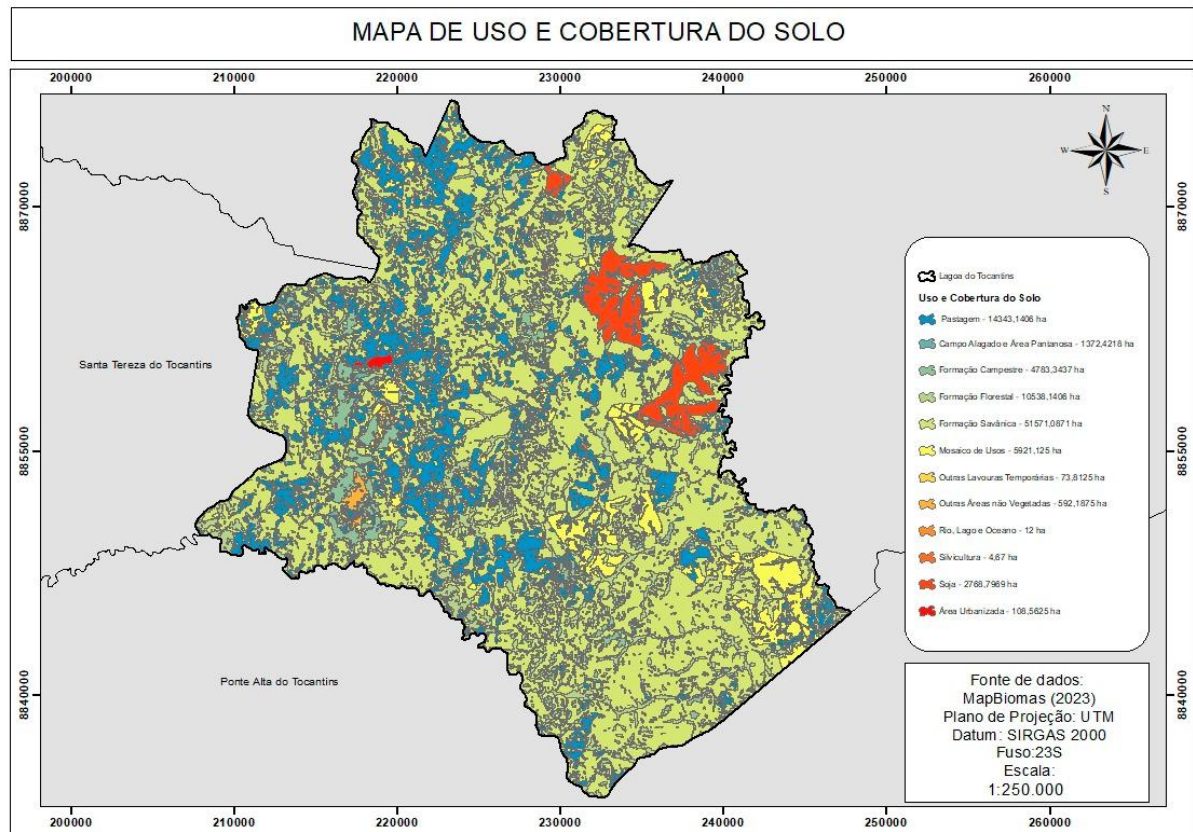
Com base nos dados apresentados pelo MapBiomass (2023) é possível observar uma redução significativa da cobertura natural ao longo do tempo: entre 1985 e 2023, a participação das formações naturais no município caiu de 98,5% para

74,1%. Mesmo com 24,4% de substituição da vegetação natural no período de 38 anos, há predominância de Formação Savânica. Quanto a atividade de maior predominância, a Pastagem fica em primeiro lugar, sugerindo que a região possui um perfil agropecuário significativo, com parte do território dedicado à pecuária.

Quadro 01 - Descrição das áreas de uso e ocupação do solo do município de Lagoa do Tocantins.

Classe	Descrição
Formação Florestal	Tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas e dossel contínuo, incluindo mata ciliar, mata de galeria, mata seca, cerradão e florestas estacionais semidecíduais.
Formação Savânica	Formações campestres com predomínio de estrato herbáceo, abrangendo também áreas de cerrado rupestre.
Campo Alagado/Pantanoso	Vegetação predominantemente herbácea, sujeita a alagamentos sazonais ou influenciada por águas
Formação Campestre	Formações campestres com estrato herbáceo predominante, herbácea, sujeita a alagamentos sazonais ou influenciada por águas fluviais/lacustres. incluindo áreas como cerrado rupestre.
Pastagem	Áreas com pastagem plantada (uso agropecuário). Pastagens naturais são caracterizadas como formações campestres ou áreas alagadas, podendo ser sujeitas a pastejo e recente desmatamento.
Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais.
Mosaico de Usos	Áreas agropecuárias onde não é possível distinguir claramente entre pastagem e agricultura.
Área Urbanizada	Regiões com edificações e infraestrutura, incluindo ruas e áreas livres de construções.
Outras Áreas não vegetadas	Superfícies não permeáveis não classificadas em outras categorias, solo exposto natural ou em entressafra agrícola.
Rio, Lago e Oceano	Corpos d'água como rios, lagos, represas e reservatórios.

Fonte: MapBiomias, 2023.

Mapa 11 – Mapa de uso e cobertura do solo (2023)

Fonte: Autora, 2025.

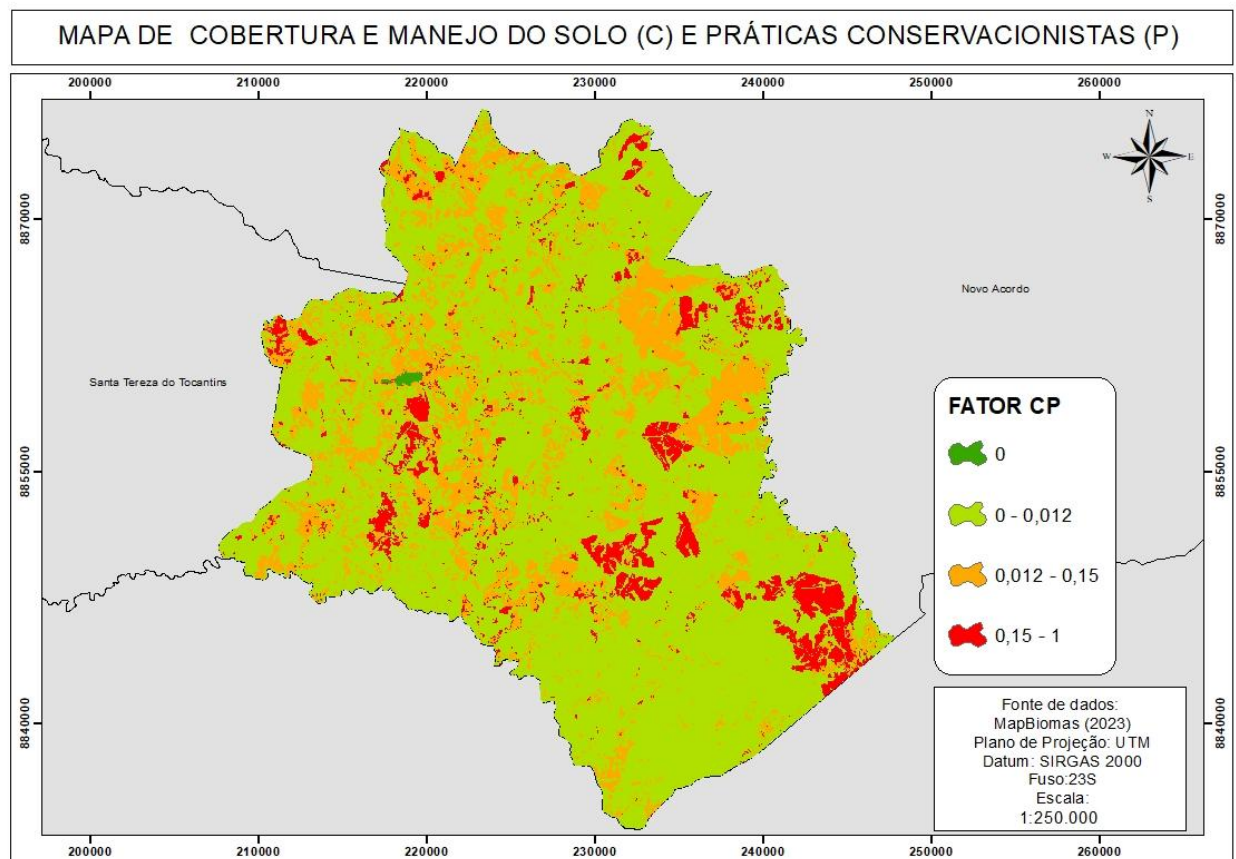
Quanto ao fator C (cobertura e manejo do solo) P (práticas conservacionistas), varia de 0 a 1, onde valores mais próximos de 0 indicam uma maior eficácia das práticas de manejo e conservação do solo na redução da erosão, enquanto valores mais próximos de 1 sugerem menor proteção do solo e maior suscetibilidade à erosão.

Com base no mapa 12, ver-se que o valor de CP variou de 0 a 1, onde as áreas com valores 0 correspondem a cursos d'água e áreas urbanas, que não sofrem com processos erosivos. Eles representam o valor mínimo do índice, equivalente à cobertura vegetal densa, como nas florestas, que atua como um verdadeiro escudo natural contra a erosão hídrica, reduzindo o impacto direto das gotas de chuva, retardando o escoamento superficial e protegendo os poros do solo, o que favorece a infiltração da água no terreno (SOUSA, 2023).

O menor valor de CP encontrado representa cerca de 0,13% do território, enquanto o maior, valor 1, o qual caracteriza um solo exposto com maior vulnerabilidade a erosão hídrica, apresenta um percentual de 0,64% da área. Já o valor CP com maior área foi o 0,0007, abrangendo 56% do município, correspondente a maior cobertura do solo, a Formação Savânica.

Borges et al. (2012) afirmam que o fator CP está diretamente relacionado à distribuição espacial do tipo de solo e sua cobertura, dessa forma, é possível observar que os valores mais altos estão representados por áreas sem vegetação e/ou destinadas a agropecuária.

Mapa 12 – Mapa de Cobertura e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas



Fonte: Autora, 2025.

4.1 Erosão do Solo no Município de Lagoa do Tocantins

A partir do cruzamento de dados dos mapas dos fatores R, K, LS e CP, chega-se ao mapa de suscetibilidade dos solos da área de estudo.

Através do mapa 13 observa-se que o município apresenta áreas que variam no quesito criticidade da erosão, já que a perda de solo alterna de Ligeira ou nenhuma a alta. Essa classificação foi disponibilizada pela FAO (1967) e suas especificações estão contidas na tabela 7. A chave de classificação apresentada, possui intervalos de classes parecidos com os descritos por Carvalho (1994): nula a pequena até $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, moderada de 10 a $15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, forte de 50 a $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e muito forte > 200 . Dessa forma, com a intensão de aumentar o detalhamento do

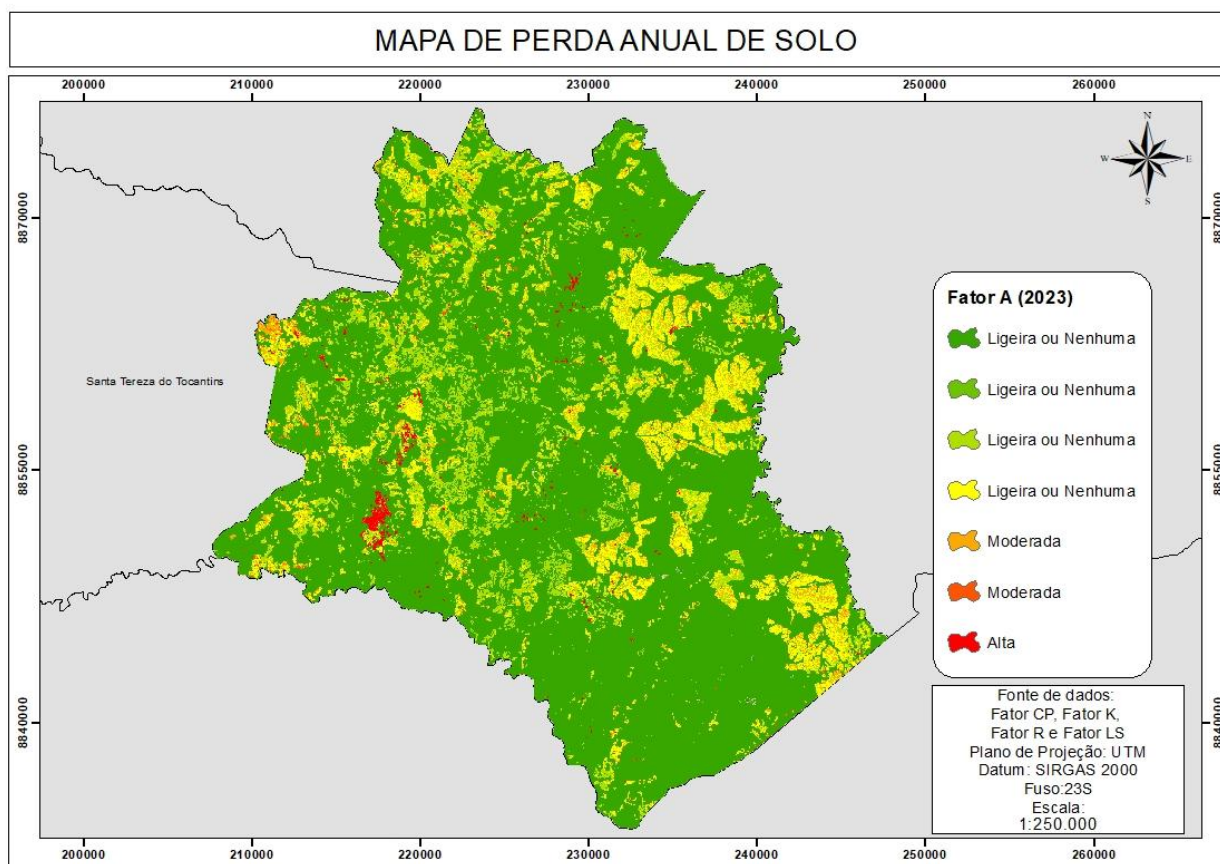
diagnóstico, foi utilizada a classificação da FAO (1967).

Tabela 07 – Classe de interpretação de perdas de solo

Perda (Mg·ha⁻¹·ano⁻¹)	Classificação
0 – 1	Nenhuma ou ligeira
1 – 3	Nenhuma ou ligeira
3 – 5	Nenhuma ou ligeira
5 – 10	Nenhuma ou ligeira
10 – 20	Moderada
20 – 50	Moderada
50 – 200	Alta
> 200	Muito alta

Fonte: FAO, 1967.

A Chave de interpretação deve ser levada em consideração devido o modelo USLE não considerar adequadamente perdas decorrentes de processos mais intensos, como a erosão linear, nem representa o modelo em terrenos com relevo côncavo (MATOS, 2015). Por essas limitações, neste estudo, os resultados obtidos a partir da USLE são interpretados de maneira qualitativa, com o objetivo de identificar áreas mais vulneráveis à erosão, e não de quantificar exatamente as perdas de solo da área de estudo.

Mapa 13 – Mapa de perda de solo anual do município de Lagoa do Tocantins

Fonte: Autora, 2025.

Com base no mapa 13 é possível observar que as áreas com ligeira ou nenhuma erosão são maioria no município, ocupando 99,17% da área total, enquanto o potencial de perda de solo moderado é de 0,8% e o de alto é de 0,03%.

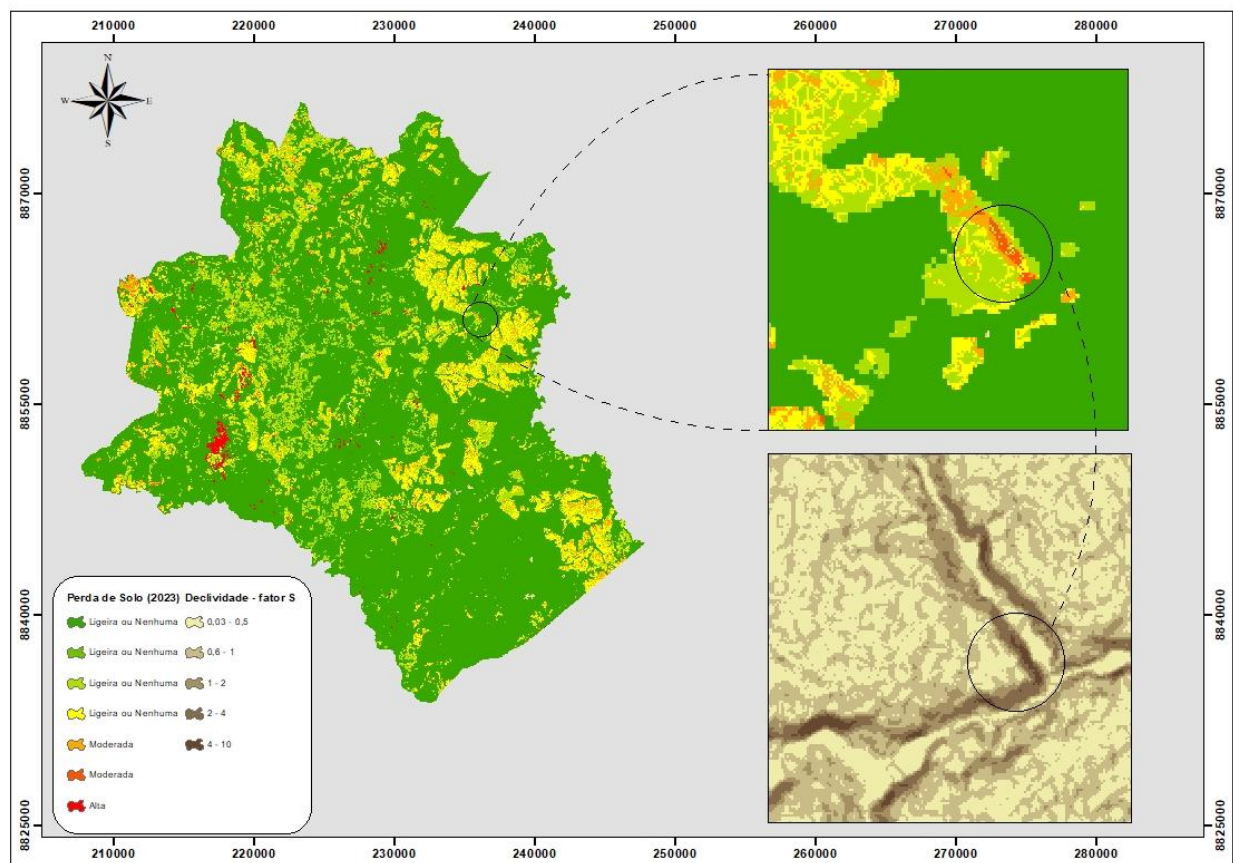
Em áreas onde a perda de solo é classificada como alta é possível observar que decorrem principalmente da influência da cobertura e manejo do solo, ou seja, do fator CP, que variou de 0,15 a 1, o qual corresponde a áreas de solo exposto e algumas destinadas a agropecuária. Concomitantemente, os setores citados apresentam solos desnudos, o que os torna ainda mais suscetíveis, visto que a erosividade (fator R) é muito alta no município inteiro, chegando a $10.800 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, resultando na perda de solo, ocasionada pelo salpicamento e arraste das partículas de solo. Batista e Cabral (2021) também chegaram a mesma conclusão quando analisaram a perda de solo nas bacias Taquaruçu Grande e Taquaruçzinho.

Outro fator que influenciou a elevada perda de solo foi o fator K, responsável pela erodibilidade dos solos. Na distribuição espacial, a maior quantidade de áreas com moderado e alto potencial de erosão se encontram inseridas em Neossolos e

Argissolos, os quais apresentam um elevado potencial erosivo. Oliveira et. Al. (2024) em seus estudos também observaram a influência direta dos fatores CP e K na classificação da erosão estimada como forte e muito forte.

Quanto ao potencial nenhum ou ligeiro, é possível identificar também o fator CP como responsável, pois em áreas com vegetação savânica e formação florestal a resistência a erosão é maior. Esse fator, mesmo influenciado pela presença do Argissolo, que possui erodibilidade alta (Embrapa, 2024), não elevou o potencial da área em questão, pois devido a vegetação natural o solo fica menos exposto a chuva e conseqüentemente o valor do fator CP fica mais próximo de 0.

Mapa 14 – Mapa de influência da declividade na perda de solo



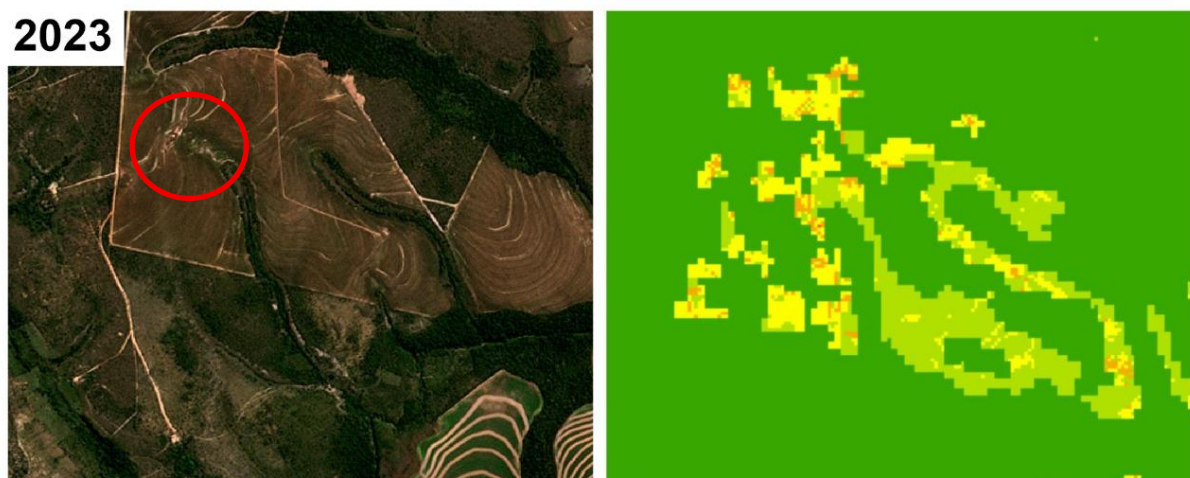
Fonte: Autora, 2025.

Em áreas de agricultura, como as da cultura da soja, ver-se que na maior parte o potencial é ligeiro ou nenhum, levando em consideração que nessas áreas o fator CP é elevado (0,12-0,15), o fator R é elevado ($>9.811 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), o fator K é elevado ($>0,03$) e a declividade varia de 0,03 a 0,5 %, ou seja, é um terreno plano (Embrapa, 2018). Dessa forma, é possível considerar o fator LS, o qual é determinado

principalmente pela declividade, como uma influência para a baixa potencialidade erosiva no presente estudo. No entanto, observando ainda as áreas destinadas a cultivo de soja, nos pontos onde a declividade variou de 2 a 4% ou 4 a 10% houve elevada ou moderada perda de solo, colocando o fator LS como um determinante na perda de solo, conforme é expresso no mapa 14.

Observando as imagens de satélite disponibilizadas pelo Programa Rede Brasil Mais, Polícia Federal e Ministério da Justiça (figura 01) é possível identificar a existência de processos erosivos em área destinada a agricultura, como a cultura da soja. A área representada na figura 01 possui uma perda de solo que varia de ligeiro ou nenhum a moderada, mesmo havendo a existência de um processo erosivo, o que evidencia, nesse estudo, que as áreas que consideram perda de solo ligeira ou moderada necessitam de mais atenção quando se trata de uso intensivo, principalmente em um solo vulnerável, o que coloca, mais uma vez, o fator de uso e ocupação do solo (CP) como um forte influenciador da erosão.

Figura 01 – Comparação da imagem de satélite com o dado vetorizado



Fonte: Moasico Imagem Planet Maio, Rede MAIS/MJSP, inclui material (2023) Planet Labs inc, todos os direitos reservados, adaptado pela autora.

Ademais, percebe-se que faz necessário melhorar a escala de avaliação para que tenha um diagnóstico mais preciso, além de visitas de campo utilizando tecnologias como drones, para garantir um mapeamento mais acurado e identificar com maior clareza as zonas mais vulneráveis à erosão, permitindo a identificação de áreas que realmente necessitam de atenção urgente e consequentemente apresentar um manejo adequado.

4.2 Práticas Conservacionistas

Devido os resultados encontrados com base no mapa de perda anual de solos, mapa 13, é possível observar que a maior parte do município possui ligeira ou nenhuma perda de solo, no entanto, há 0,83% do terreno que apresenta perda moderada a alta, além da identificação de processos erosivos. Dessa forma, faz-se necessário a utilização de práticas conservacionistas que visam reduzir as perdas nesses pontos específicos.

As áreas que apresentaram alta em relação ao fator CP de forma isolada foram as de solo exposto e pontos específicos das áreas de agricultura (soja), enquanto o fator K apresentou alta nos Argissolos e Neossolos Quartzarênicos e LS se evidenciou onde a declividade foi maior. Já o fator R, age em conjunto com os fatores CP e K, uma vez que o salpico, em local mal cobertos e manejados, suscetíveis a erosão, encontra mais facilidade na retirada do solo. Assim, trabalhando os fatores CP, K e LS para que eles reduzam, conseqüentemente reduzirá a perda de solo anual, pois a precipitação encontrará cobertura e manejo adequado, o que dificultará que a chuva leve o solo mesmo com a alta erosividade do município.

Os Argissolos são classificados como solos minerais que apresentam um horizonte B textural, ou seja, uma camada subsuperficial com maior teor de argila em comparação com a camada superior (EMBRAPA, 2021). Esse contraste de textura, com o acúmulo de argila em profundidade, pode torná-los suscetíveis a processos erosivos, especialmente à erosão laminar e à formação de sulcos, devido às diferenças na infiltração da água entre os horizontes (EMBRAPA, 2022). Apesar de apresentarem boa drenagem, esses solos podem ser afetados por erosão e compactação, sobretudo em áreas com declividade acentuada (SYNGENTA, 2025).

Já os Neossolos Quartzarênicos caracterizam-se por serem solos arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, além de apresentarem baixos teores de matéria orgânica (EMBRAPA, 2021). Embora em terrenos planos o risco de erosão seja menor, a textura predominantemente arenosa os torna extremamente vulneráveis à erosão hídrica, especialmente quando a superfície do solo está desprotegida (EMBRAPA, 2021; SYNGENTA, 2025). Essa vulnerabilidade é acentuada pela alta taxa de drenagem e pela fraca coesão entre as partículas de areia (AGROLINK, 2022).

Para mitigar esses riscos, a cobertura do solo representa a medida mais eficaz

na proteção contra a erosão, reduzindo o impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial (EMBRAPA, 2021). Entre as práticas mais recomendadas destaca-se o plantio direto, que consiste na semeadura sobre resíduos vegetais da cultura anterior, sem revolvimento do solo (EPAMIG, 2009). Essa técnica promove o aumento da infiltração de água, melhora os teores de matéria orgânica e reduz a erosão (EMBRAPA, 2021). Nos Argissolos, o plantio direto auxilia no controle da compactação e na redução da erosão (EMBRAPA, 2021), enquanto nos Neossolos Quartzarênicos, a manutenção da cobertura é fundamental para evitar a desagregação e a perda de nutrientes (EMBRAPA, 2022).

Outra prática essencial é a utilização de culturas de cobertura (adubação verde), que são introduzidas entre os ciclos da cultura principal ou durante o pousio. Essas culturas protegem o solo, aumentam a matéria orgânica, reciclam nutrientes e melhoram sua estrutura física (EPAMIG, 2023). Nos Neossolos Quartzarênicos, esse tipo de manejo é essencial para compensar a baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (EPAMIG, 2009.); já nos Argissolos, contribui para a estabilidade dos agregados e maior resistência à erosão (EMBRAPA, 2019).

A rotação de culturas também se mostra benéfica, pois a alternância entre diferentes espécies vegetais diversifica o sistema radicular, melhora a estrutura do solo e contribui para o controle de pragas e doenças (EMBRAPA, 2019). Na cultura da soja, por exemplo, a rotação com leguminosas (milho e sorgo) e gramíneas (azevém e milheto) auxilia na conservação do solo ao evitar o revolvimento frequente.

Além das práticas culturais, as práticas edáficas visam melhorar as propriedades intrínsecas do solo. A adubação orgânica, utilizando compostos orgânicos ou resíduos vegetais, é essencial para ambos os tipos de solo. Nos Neossolos Quartzarênicos, contribui para o aumento da capacidade de troca catiônica, retenção de água e estabilidade estrutural (EPAMIG, 2009.); nos Argissolos, favorece a formação de agregados mais estáveis e resistentes à ação da chuva (EMBRAPA, 2019). A correção da acidez e da fertilidade do solo, por meio da calagem e da adubação balanceada, também é fundamental para garantir o desenvolvimento saudável das plantas, cuja cobertura radicular é determinante para proteger o solo contra a erosão (EPAMIG, 2009).

Outrossim, para tratar perímetros com fator LS suscetível, sugere-se a utilização de plantio em curva de nível e práticas mecânicas como o terraceamento, visando a conservação do solo e da água. O plantio em curvas em curvas nível refere-

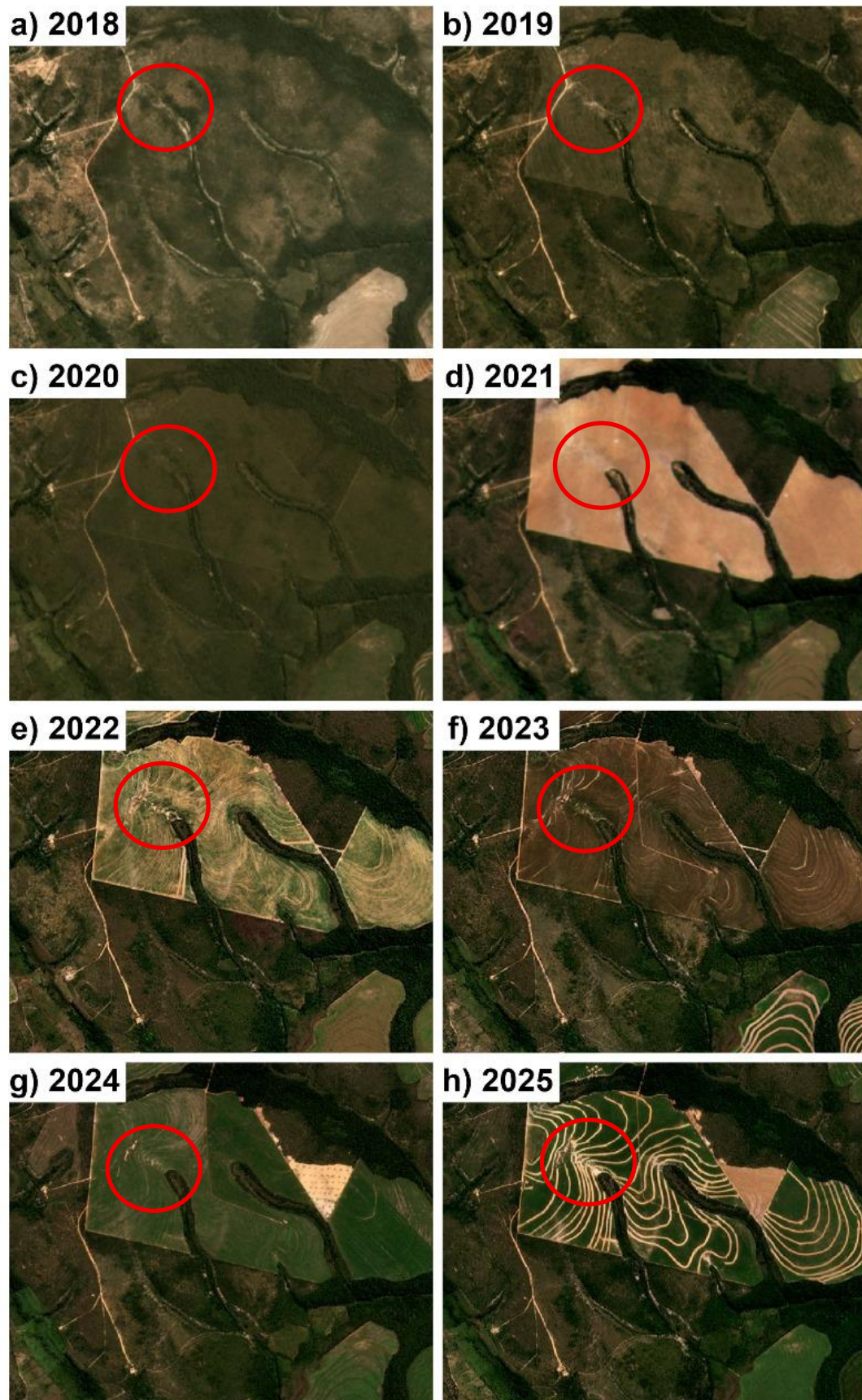
se ao plantio em linha no sentido transversal do declive, no qual as linhas são formadas por pontos de mesma altitude, no entanto, deve ser utilizada em conjunto com outras práticas, podendo ser utilizada de forma isolada somente em terrenos com declividade de até 3% e com pequeno comprimento de rampa (EMBRAPA, 2012). Conforme Borges (2021) todas as práticas de manejo, desde o preparo do solo, devem ser executadas seguindo as curvas de nível; nenhuma operação, deve ser realizada no sentido morro abaixo.

Já a prática de terraceamento consiste na construção de estruturas físicas no sentido transversal ao declive do terreno em intervalos dimensionados, seguindo as curvas de nível. Essa prática possui duas funções: infiltração e drenagem, dessa forma, a construção de terraço para infiltração é feita com as extremidades fechadas, sendo indicados para Neossolos Quartzarênicos, pois possuem boa permeabilidade e rápida infiltração, enquanto o terraço de drenagem apresenta uma abertura nas extremidades, onde são construídas bacias de captação de fluxo feitas para coletar a água, o qual é indicado para Argissolos, já que possuem uma permeabilidade mais lenta (EMBRAPA, 2012).

Conforme a imagem de satélite (Figura 02), ver-se que já se faz uso de algumas práticas conservacionistas, como plantio em curva de nível e terraceamento. O recorte em questão trata-se de uma área que apresenta potencial erosivo devido estar sobrepondo uma área de preservação permanente (APP), a qual protege um curso hídrico. Analisando a linha temporal desse recorte, tem-se que a partir do ano de 2018, com a supressão da vegetação nativa para agricultura, o processo erosivo começou a se intensificar, com isso, houve a utilização do plantio em curva de nível (em 2019) e posteriormente de terraceamento com bacias de contenção (em 2022).

Apesar da utilização de práticas conservacionistas, a área ainda apresenta processo erosivo, isso se dá devido a supressão da vegetação nativa, vegetação essa que deveria ser protegida por lei conforme o código florestal, já que se trata de uma APP, conforme citado anteriormente e possivelmente de uma nascente. Dessa forma, para que a perda de solo seja reduzida, sugere-se que seja feito um projeto de recuperação de áreas degradadas (PRAD) visando a recuperação da vegetação nativa da APP. Assim, no período chuvoso, no qual a erosividade do município é alta, a vegetação funcionaria como uma contenção e absorvedora, reduzindo o arraste de partículas de solo.

Figura 02 – Comparação do processo erosivo nos anos de 2018-2025



Fonte: Moasico Imagem Planet, Rede MAIS/MJSP, inclui material (2018-2023) Planet Labs inc, todos os direitos reservados, adaptado pela autora.

Por fim, a redução da erosão em áreas cultivadas como as áreas de agricultura e em solos expostos com Argissolos e Neossolos Quartzarênicos requer uma abordagem integrada, que leve em consideração as características físicas e químicas do solo. O uso combinado do plantio direto e em curva de nível, culturas de cobertura, rotação de culturas, adubação orgânica é essencial para garantir a sustentabilidade do uso do solo e a conservação dos recursos naturais.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que embora a maior parte do território (99,17%) demonstre baixa perda de solo, classificado como “ligeira ou nenhuma perda”, o mesmo pode esconder zonas críticas com potencial de degradação severa especialmente em solos arenosos e áreas de APP.

A elevada erosividade das chuvas na região (Fator R) é um fator agravante que, combinado com a erodibilidade dos solos (Fator K), contribui para a vulnerabilidade, revelando um potencial natural do Município, um dado importante que pode embasar ações de prevenção em políticas públicas

As áreas que apresentaram maiores perdas estão ligadas diretamente pela alta perda dos fatores CP, R, LS e K, ou seja, onde o valor desses fatores se apresentou mais alto, houve maiores perdas.

As práticas conservacionistas são essenciais para mitigar a erosão nas áreas críticas, levando em consideração a necessidade de cada área, ressaltando a necessidade de preservação das áreas de preservação permanente (APP) para que não haja prejuízos maiores.

Em suma, a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) demonstrou ser uma ferramenta eficaz para identificar as áreas mais vulneráveis à erosão no município de Lagoa do Tocantins, validando a coerência dos resultados com estudos anteriores, isto é, para a escala regional, já que não captura processos como ravinamento ou voçoroca. Ademais, para estudos posteriores, sugere-se a utilização da equação USLE atualizada: RUSLE.

Os achados deste trabalho fornecem subsídios importantes para o direcionamento de políticas públicas e estratégias de manejo que visem à conservação do solo e da água, conciliando o desenvolvimento agrícola com a sustentabilidade ambiental. Recomenda-se, ainda, o aprimoramento das análises por meio de visitas de campo e o uso de tecnologias como drones para um diagnóstico mais preciso e a quantificação das perdas de solo.

REFERÊNCIAS

AGROLINK. *Solo arenoso é desafio para o algodão*. 8 set. 2022. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/solo-arenoso-e-desafio-para-o-algodao_470052.html. Acesso em: 5 jul. 2025.

ALBUQUERQUE, E. R. Aplicação de Geotecnologia na Gestão Ambiental do Município de Salinas, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC. 2009.

BAHADUR, R. Soil erosion and conservation. New Delhi: I. K. International Publishing House, 2009.

BARROS, Enicléia Nunes de Sousa. Estimativa da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manuel Alves Pequeno, TO. 2017.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 545-552, 2002.

BERTONI, J. **O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. *Bragantia*, Campinas, 1959.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1985.

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

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo: uso da terra, manejo e erosão*. Piracicaba: Livrocere, 1985.

BOGNOLA, I. A. et al. Erodibilidade potencial dos solos do Estado do Tocantins. **Embrapa Monitoramento por Satélite. Circular Técnica**, v. 3, 1997

BORGES, Ana Lúcia. Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá. 2021.

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

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Bioma Cerrado: características, biodiversidade, conservação e ameaças*. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 20 mar. 2025.

CIDADE-BRASIL. *Lagoa do Tocantins, TO - Informações sobre o município e a prefeitura*. 2024. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-lagoa-do-tocantins.html>. Acesso em: 5 jul. 2025.

CLIMATEMPO. *Climatologia - Lagoa do Tocantins - BR*. 2025. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/6552/lagoadotocantins-to>. Acesso em: 5 jul. 2025.

COLLICCHIO, Erich et al. Cenários prospectivos de mudanças climáticas para o estado do Tocantins. 2022.

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.

DA SILVA MATOS, Thiago Vieira. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na equação universal de perda de solo (USLE)**. 2015.

DE CARVALHO, R. A.; DE CASTRO, L. F. S. Gestão ambiental e políticas públicas de combate à erosão dos solos no Cerrado brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 2, p. 580–597, 2023. DE FARIA GODOI, Raquel et al. High-resolution soil erodibility map of Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 781, p. 146673, 2021.

DE FARIAS, Orlindo Gomes; FRANCISCO, Cristiane Nunes; ALVES, Monica Carneiro. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhoso no litoral sul do estado rio de janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, 2017.

DECHEN, Sonia Carmela Falci et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015.

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

DONZELI, P. L. et al. **Diagnóstico do Risco de Erosão e Perdas de Solo do Norte do Estado do Tocantins**. Organizado por Pedro Luiz Donzeli et al. Palmas: Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan), Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE), 2006. 42 p.

DONZELI, P. L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. A. F.; NOGUEIRA, F. P.; ROTTA, C. L.; LOMBARDI NETO, F. Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de Microbacias Hidrográficas. Documentos IAC, Campinas, n. 29, p. 91-119, 1992.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Erodibilidade dos solos do Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2024. 246 p. (Documentos, 246).

EMBRAPA. *Agricultura conservacionista: conheça os preceitos e práticas para o Cerrado*. 27 nov. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/48440960/agricultura-conservacionista-conheca-os-preceitos-epraticas-para-o-cerrado>. Acesso em: 5 jul. 2025.

EMBRAPA. *Argissolos - Portal Embrapa*. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solostropicais/sibcs/chave-do-sibcs/argissolos>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EMBRAPA. *Argissolos Vermelho-Amarelos*. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/argissolos/argissolos-vermelho-amarelos>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EMBRAPA. *Erosão dos solos: causas, consequências e formas de controle*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 20 mar. 2025.

EMBRAPA. *Latossolos Amarelos*. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-amarelos>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EMBRAPA. *Latossolos Vermelho-Amarelos*. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelho-amarelos>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EMBRAPA. *Manejo e conservação do solo - Portal Embrapa*. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/mamona/producao/tratos-culturais/manejo-e-conservacao-dosolo>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EMBRAPA. *Neossolo Quartzarênicos*. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos/neossolo-quartzarenicos>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EMBRAPA. *Neossolos Litólicos*. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos/neossolos-litolicos>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/plintossolos>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EPAMIG. *Práticas Conservacionistas*. Belo Horizonte: Livraria EPAMIG, 2009. Disponível em: <https://livrariaepamig.com.br/wp->

content/uploads/2023/02/Praticasconservacionistas.Pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soil erosion by water: some measures for its control on cultivated lands. Rome: FAO, 1967. (FAO Agricultural Development Paper, 81).

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Anuario sobre Conservación de Suelos*. Roma: FAO, 1967. (FAO Conservation Guide, n. 3).

FAO. *Global assessment of soil erosion*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 18 mar. 2025.

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

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.

HERNANI, Luís Carlos et al. A erosão e seu impacto. 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Lagoa do Tocantins – Panorama*, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 mar. 2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. *Climatologia do Tocantins*, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inmet>. Acesso em: 19 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades e Estados: Lagoa do Tocantins (TO)*. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to/lagoa-do-tocantins.html>. Acesso em: 5 jul. 2025.

LAL, R. Erosion and its impact on soil fertility and productivity. *Soil Science Society of America Journal*, v. 81, n. 2, p. 443-452, 2017.

LANZA, D. S. ***Diagnóstico da Erosão Laminar na Alta e Média Bacia do Rio Paraopeba***. Belo Horizonte, 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Análise Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

LIMA, E. de P. et al. Erosividade da chuva do Brasil. 2023.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, Campinas, v. 51, n. 2, 1992, p.189-196.

MAPBIOMAS. *Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil*. Projeto MapBiomass, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 21 mar. 2025.

MAPBIOMAS. *Coleção 9: Série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil, versão 1.0*. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/downloads>. Acesso em: 04 mar. 2025.

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

MATA, J. D. V. et al. Vulnerabilidade natural: a perda de solo da bacia do Rio Carinhonha (MG/BA) usando uma abordagem qualitativa da Equação Universal de Perda de Solos. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267789694_VULNERABILIDADE_NATURAL_A_PERDA_DE_SOLO_DA_BACIA_DO_RIO_CAA Acesso em: 7jun. 2025.

MCCOOL, DK; BROWN, LC; FOSTER, G. R. Fator de declive revisado para o Equação Universal de Perda de Solo. *Transações da Sociedade Americana de Agricultura Engenheiros*, v. 30, págs. 1387-1396, 1987.

MCCOOL, DK; FOSTER, GR; MUTCHLER, C. K.; MEYER, LD Comprimento de declive revisado fator para a Equação Universal de Perda de Solo, *Transações da Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas*, v. 32, p. 1571-1576, 1989.

MELO, A. C. A. et al. Susceptibilidade à erosão, perda de solos e vulnerabilidade natural na bacia do Médio Rio Araguaia-Brasil, 2023.

OLIVEIRA, A. H. et al. Zoneamento da erosividade da chuva no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 22, n. 5, p. 343–348, 2018.

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NETO, K.; FREITAS, D. A. F. Development of Topographic Factor Modeling for Application in Soil Erosion Models. In: SORIANO, M. C. H. **Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment**. Rijeka, InTech, 2013. cap. 4, p. 111-138.

OLIVEIRA, Danyella Ferreira; ALMEIDA, Rherison Tyrone Silva. Avaliação da Vulnerabilidade à Perda de Solo com a Implementação do Parque Estadual da Serra Dourada–Goiás. **Ateliê Geográfico**, v. 18, n. 3, p. 211-245, 2024.

OLIVEIRA, I. A. de; SOUSA, F. M. L.; CASTRO, S. S. Erosão hídrica em solos tropicais com horizonte B textural: uma revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 6, p. 2713–2730, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.6.p2713-2730.

OLIVEIRA, L. F. C. Erosão do solo: conceitos, causas e controle. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011.

OLIVEIRA, M. A. C. et al. Aplicação da USLE para estimativa da perda de solo em área de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, e0200142, 2021.

OUZA, Camila Rodrigues. *Análise espacial da vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Ribeirão São João – TO*. 2021. 112 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional,

2021.

PEREIRA, M. P. S.; COUTO, F.; SCHUMACHER, V.; et al. *Rainy Season Migration across the Northeast Coast of Brazil Related to Sea Surface Temperature Patterns*. *Atmosphere*, v. 15, n. 6, p. 713, 2024.

PESSOA, Francisco Carlos Lira; RODRIGUES, Bruno Durão; FERREIRA FILHO, David Figueiredo. Análise espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado do Pará–Brasil a partir de dados de satélite. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 696-723, 2022.

PINESE JUNIOR, J. F. et al. Fator C da Equação Universal de Perda de Solo para diferentes usos e manejos em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1721-1730, 2008.

REBOITA, M. S.; OLIVEIRA, D. E.; NATESSON, M.; ASQUIERI, B. “Influência da Zona de Convergência Intertropical sobre as chuvas no Norte e Nordeste do Brasil.” *Climatologia*, v. 6, n. 1, p. 121–134, 2010.

RENARD, K. G. et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service, 1997. (Agricultural Handbook, n.703).

RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the Revised USLE. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 157, p. 287–306, 1994.

RUTEBUKA, E. et al. Rainfall erosivity estimation using limited data and its implications for soil erosion prediction in tropical environments. *Catena*, Amsterdam, v. 189, 104498, 2020.

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.

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.

SEMADESC. **ARTIGO de Fernando Lamas – A importância do solo na produção, 2015** disponível em: <https://www.semadesc.ms.gov.br/artigo-de-fernando-lamas-a-importancia-do-solo-na-producao-de-agua-de-alimentos-fibras-energia-e-para-a-qualidade-de-vida/>. Acesso em: 8 jul. 2025.

SILVA NETO, Virgílio Loureço et al. Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 148-162, 2022.

SILVA, A. M. da. **Erosividade das chuvas e sua relação com as perdas de solo em diferentes sistemas de uso e manejo**. 2004. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SILVA, A. M. et al. Fator C da Equação Universal de Perda de Solo para diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 251-257, 2007.

SILVA, J. S. V.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. Erosão e conservação do solo. São Paulo: Nobel, 2003.

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, L. P., OLIVEIRA, G. C., CURI, N. (2020). Aplicações e limitações da USLE e RUSLE em áreas tropicais. ***Revista Ciência do Solo***, **44**, e0190162.

SOUZA, L. C. de et al. **Erosividade das chuvas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2023. 76 p. (Embrapa Solos. Documentos, 209). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1152626/erosividade-das-chuvas-no-brasil>. Acesso em: 03 ago. 2025.

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 do IV Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. Marília, SP, 1987. P. 105-135.

SYNGENTA. *Argissolo: características, distribuição e manejo adequado*. Mais Agro, 2025. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobreagro/argissolo-caracteristicas-distribuicao-e-manejo-adequado/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SYNGENTA. *Neossolo: características, ocorrência e manejo para uso agrícola*. Mais Agro, 2025. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobreagro/neossolo-caracteristicas-ocorrencia-e-manejo-para-uso-agricola/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

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.

TOCANTINS. Governo do Estado do Tocantins. Secretaria da Agricultura. Programa de Incentivo à Agricultura Familiar e Sustentável no Estado do Tocantins. Palmas, 2023. Disponível em: <https://www.to.gov.br>. Acesso em: 22 mar. 2025.

TOCANTINS. Governo do Estado. *Em Lagoa do Tocantins, Governo do Estado fortalece a agricultura familiar com a realização da 28ª Feira da Colheita*. Palmas: Secretaria de Comunicação Social, 2024. Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/em-lagoa-do-tocantins-governo-do-estado-fortalece-a-agricultura-familiar-com-a-realizacao-da-28a-feira-da-colheita/xurn0zv1cxd>. Acesso em: 09 abr. 2025.

VIOLA, Marcelo Ribeiro et al. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***, v. 49, n. 02, p. 125-135, 2014.

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

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, D.C.: U.S.Dept. of Agriculture, 1978.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rock Mountains**: Guide for selection of practices for soil and water conservation Supersedes Agriculture Handbook 282. United States department of Agriculture. Washington, 1965.

WU, Tieniu et al. Factors affecting the stability of soil aggregates of plinthosols in the middle reaches of the Yangtze River. **Catena**, v. 228, p. 107159, 2023.

XAVIER, A. C.; LOMBARDI NETO, F.; SILVA, M. L. N. (2019). Avaliação do uso de modelos digitais e SIGs na predição da erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **43**, e0180201.

YUAN, Y. et al. A review of soil erosion modeling using remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, London, v. 26, n. 19, p. 4299-4314, 2005.