

**INSTITUTO FEDERAL  
GOIANO**  
Câmpus Rio Verde

**ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO INDAIÁ (ESTADO DE  
GOIÁS – BRASIL) POR MEIO DE MODELAGEM  
MATEMÁTICA E GEOTECNOLOGIAS**

**MARIA ANTONIA BALBINO PEREIRA**

**Rio Verde, GO**

**2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO INDAIÁ (ESTADO DE GOIÁS – BRASIL) POR MEIO DE  
MODELAGEM MATEMÁTICA E GEOTECNOLOGIAS**

**MARIA ANTONIA BALBINO PEREIRA**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. Lucas Peres Angelini

Rio Verde – GO

2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

P436a      Pereira, Maria Antonia Balbino  
            ANÁLISE DA EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA  
            DO CÔRREGO INDAIÁ (ESTADO DE GOIÁS - BRASIL) POR MEIO  
            DE MODELAGEM MATEMÁTICA E GEOTECNOLOGIAS / Maria  
            Antonia Balbino Pereira; orientador Lucas Peres  
            Angelini. -- Rio Verde, 2022.  
            40 p.

            TCC (Graduação em Engenharia Ambiental ) --  
            Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

            1. Perda de solo. 2. USLE. 3. Geotecnologias. I.  
            Angelini, Lucas Peres , orient. II. Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese                          | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                   | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização   | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação    | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional | - Tipo:   |

Nome Completo do Autor: MARIA ANTONIA BALBINO PEREIRA

Matrícula: 2017102200740351

Título do Trabalho: ANÁLISE DA EROÇÃO HÉDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO INDAIÁ (ESTADO DE GOIÁS - BRASIL) POR MEIO DE MODELAGEM MATEMÁTICA E GEOTECNOLOGIAS

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 08/08/2022

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde (Goiás), 08/08/2022.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

### ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 03 de agosto de 2022, às 14 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Lucas Peres Angelini (orientador), Édio Damásio (membro), Nivalda da Costa Nunes (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “ANÁLISE DA EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÔRREGO INDAIÁ (ESTADO DE GOIÁS – BRASIL) POR MEIO DE MODELAGEM MATEMÁTICA E GEOTECNOLOGIAS” da estudante Maria Antônia Balbino Pereira, Matrícula nº 2017102200740351 do Curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do Trabalho de Curso, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Lucas Peres Angelini  
Orientador

Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior  
Membro Interno

Prof. Me. Nivalda da Costa Nunes  
Membro Externo

## Documento Digitalizado Público

### Ata defesa trabalho de Curso - Maria Antônia Balbino Pereira

**Assunto:** Ata defesa trabalho de Curso - Maria Antônia Balbino Pereira  
**Assinado por:** Lucas Angelini  
**Tipo do Documento:** Ata  
**Situação:** Finalizado  
**Nível de Acesso:** Público  
**Tipo do Conferência:** Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

■ **Lucas Peres Angelini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 08/08/2022 14:33:25.

Este documento foi armazenado no SUAP em 08/08/2022. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 381147

**Código de Autenticação:** 4f74b1d868



## RESUMO

PEREIRA, Maria Antonia Balbino. **ANÁLISE DA EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO INDAIÁ (ESTADO DE GOIÁS – BRASIL) POR MEIO DE MODELAGEM MATEMÁTICA E GEOTECNOLOGIAS.** 2022. 40p. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2022.

Considerando as mudanças causadas nos ecossistemas, muitas vezes negativas e ocasionadas por atividades antrópicas, são necessários dados para subsidiar ações e políticas públicas voltadas para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos. A bacia hidrográfica do Córrego Indaiá (BHCI) fica localizada no município de Rio Verde (GO), importante região para o agronegócio no âmbito nacional e internacional. É relevante ressaltar que o corpo hídrico em questão é afluente do Rio Verdinho, fonte estratégica de captação de água para o abastecimento do município de Rio Verde (GO). Assim, o objetivo do trabalho foi analisar, por meio de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, a BHCI, tendo em vista entender as relações entre aspectos físicos naturais e ações antrópicas, através de análises do uso e cobertura da terra para o ano de 2021, da erosão hídrica anual e para os períodos chuvoso e seco para o mesmo ano supracitado (por meio do modelo *Universal Soil Loss Equation – USLE*). A erosão real (ER) para ambos os períodos analisados e a anual correspondeu a mais de 70% da área para classe Extremamente alta. Os maiores resultados estão relacionados as áreas com a presença de altos valores do fator topográfico, aos solos Cambissolo, Argissolo, Latossolo Vermelho Distrófico com textura média e de usos de agricultura e pastagem, próximos os corpos hídricos. Cerca de 91,36% da ER se concentra no período chuvoso. Estes resultados irão subsidiar o planejamento e a gestão ambiental dessa importante bacia hidrográfica.

**Palavras-chave:** Perda de solo, USLE, geotecnologias.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	4
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	6
2.1	Erosão do solo.....	6
2.2	Estimativas de Erosão do solo .....	6
2.3	Geotecnologias aplicadas a análise ambiental .....	7
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	9
3.1	Localização e Caracterização Geral da Área de Estudo .....	9
3.2	Bases de Dados .....	12
3.3	Procedimentos metodológicos .....	13
3.3.1	Fator de erosividade da chuva (R) .....	13
3.3.2	Fator de erodibilidade do solo (K).....	14
3.3.3	Fator topográfico (LS) .....	16
3.3.4	Fator de uso e cobertura da terra (C) .....	16
3.3.5	Manejo e práticas conservacionistas do solo (P) .....	17
3.3.6	Integração dos fatores (erosão potencial e erosão real) .....	17
3.3.7	Classificação e análise dos resultados .....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
4.1	Erosividade (Fator R) .....	19
4.2	Erodibilidade (Fator K).....	21
4.3	Fator Topográfico (Fator LS) .....	23
4.4	Erosão Potencial .....	24
4.5	Fator de manejo e práticas conservacionistas .....	27
4.6	Fator C .....	28
4.7	Erosão Real .....	32
5	CONCLUSÃO .....	35
6	REFERÊNCIAS .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

Em um planeta de alterações climáticas e no uso da terra, os solos com fertilidade são um dos recursos mais essenciais para o sustento da humanidade (ALEWELL et al., 2019). No século XX, o processo de degradação do solo aconteceu de forma mais rápida devido às pressões crescentes e combinadas da pecuária e produção agrícola (conversão de floresta, superprodução, sobrepastoreio), desmatamento, urbanização e acontecimentos climáticos extremos (secas e inundações costeiras que causam a salinização do solo) (FARAH et al., 2021).

A erosão do solo é o tipo mais dominante de degradação do solo, ocasionando sérios impactos ambientais e socioeconômicos em várias partes do planeta (SAHOUR et al., 2021). Entre as consequências negativas da erosão do solo pode-se citar a ameaça para a agricultura devido à perda de solo, carbono orgânico e nutrientes (BEZAK et al., 2021), além da diminuição da qualidade da água por carreamento de partículas e desequilíbrio da biota.

O Cerrado é apontado como a savana com maior biodiversidade do planeta, além de ser o segundo maior bioma brasileiro, porém, nas últimas décadas, sobretudo devido à expansão agrícola e incêndios florestais, o bioma foi degradado de modo severo, perdendo quase 50% de sua vegetação original (SANTOS et al., 2021a). Segundo Barcelos e Maruschi (2017) as áreas de Cerrado passaram por processos de ocupação que aconteceram de forma descontrolada desde a chegada dos primeiros colonizadores na procura dos seus recursos naturais, os estudos mostram que até o ano de 2002 o cerrado perdeu notadamente sua área original, sendo alterado cada vez mais pela ação dos processos erosivos. Com isso, fica claro a necessidade de estudos que abordem o tema de erosão dos solos nesse importante bioma.

Para Macedo (2013) em âmbito de região, o Centro-Oeste teve sua ocupação incentivada inicialmente pela “Marcha para o Oeste”, com isso sofreu intensas transformações em sua organização territorial com a construção das cidades de Goiânia (1937) e de Brasília (1960), com as mudanças impulsionadas também pelos investimentos do Plano de Metas e pelas políticas de colonização, dessa forma a ocupação da região se acelerou pelos crescentes fluxos migratórios nas décadas de sessenta e setenta do século vinte, com grandes taxas de crescimento demográfico, maiores que a média nacional, que continuaria na década seguinte.

Para o âmbito de Rio Verde, o predomínio e o aumento de áreas agrícolas, com consequente diminuição de área de pastagem e vegetação nativa do Cerrado/mata podem ser justificados pelos aspectos físicos local, vias de acesso, clima, tecnologias, pesquisa e políticas públicas, como o Programa Para o Desenvolvimento do Cerrado (POLOCENTRO) e o

Programa Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento do Cerrado – PRODECER, propícios a esse tipo de uso com produtividade competitiva no mercado internacional (ALVES, 2019).

A substituição do uso e cobertura da terra acelerada e feita sem controle, com a ocupação desordenada pode causar sérios prejuízos, uma vez que existe uma correlação profunda entre o uso e cobertura da terra e os processos erosivos, com alguns usos apresentando maior suscetibilidade a perda do solo. Geralmente as áreas com vegetação nativa tem maior resistência aos processos erosivos, por motivos como a cobertura vegetal durante todo o ano e não aparentarem desestruturação e compactação do solo por maquinário e outros agentes antrópicos.

Como as análises *in situ* de erosão dos solos são dispendiosas e demoradas, os modelos matemáticos que fazem essa previsão têm sido cada vez mais utilizados. Para Alewell et al. (2019) a modelagem em grande e pequena escala e o mapeamento da erosão do solo são inevitáveis e entre as abordagens mais amplamente usadas no decorrer de uma história de 80 anos de modelagem de erosão, pode-se citar os algoritmos que se baseiam na Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que já foram empregados em 109 países.

A USLE é constituída por 5 fatores, sendo eles a erosividade (fator R), a erodibilidade (fator K), a dissecação do relevo (fator LS), o uso e cobertura da terra (fator C) e as práticas conservacionistas do solo (fator P), a partir da multiplicação desses fatores é possível estimar a perda de solos. Por questões de viabilidade e de eficiência (visualização espacial da erosão) o processo de modelagem a partir desse modelo é apoiado em muitos estudos por geotecnologias (ALVES, 2019; NUNES, 2020; MEINEN e ROBINSON, 2021).

Assim, o objetivo desse trabalho foi entender as relações entre precipitação pluviométrica, aspectos do relevo, solos, uso e cobertura da terra, manejo e práticas conservacionistas e perda de solos para os períodos chuvoso, seco e perda anual na bacia hidrográfica do Córrego Indaiá (BHCI), com a utilização do modelo USLE adaptada por Lombardi Neto e Moldenhauer (1977) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (2014) para as condições ambientais do Brasil a partir do modelo proposto por Wischmeier e Smith (1978), com o processo de modelagem feito por intermédio de geotecnologias.

A BHCI foi escolhida para esse estudo devido à sua relevância econômica e ambiental, fonte de recursos naturais de diversas atividades agropecuárias, industriais e outros usos. Atualmente estudos e projetos estão sendo implementado para captação de água na bacia do Rio Verdinho (o Córrego Indaiá é o maior afluente a montante do ponto de captação de água planejado e localizado próximo desse ponto) para atender a demanda crescente da população

do município de Rio Verde (GO), é importante destacar também que nessa bacia há grandes áreas com projetos de irrigação.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Erosão do solo**

O solo é um recurso natural de muita importância por sustentar a biodiversidade, por ser um componente fundamental dos ecossistemas e dos ciclos naturais e ainda suporte da produção de alimentos e das atividades humanas, entretanto, sua degradação representa um dos piores quadros de problemas ambientais do presente (BALDASSARINI e NUNES, 2018).

O consecutivo acréscimo de pressões pelos humanos, seja por desmatamento, práticas agrícolas inadequadas, urbanização e outros podem causar resultados devastadores de perda de solo e, por consequência, degradação dos ecossistemas (PILATTI, 2022).

A erosão é uma das formas de degradação dos solos mais cruciais, dado que a compreensão das dinâmicas ligadas no processo é essencial para possibilitar o controle, conservação e recuperação do solo, para entender os fatores e dinâmicas vinculados ao processo de erosão tem-se como opção o uso de métodos de avaliação de perda de solo (JULIAN, 2022). Para Bezak et al. (2021) a modelagem da erosão do solo é uma das etapas utilizadas para planejar medidas apropriadas para proteger o solo e identificar pontos críticos de erosão.

### **2.2 Estimativas de Erosão do solo**

Existem dois métodos para determinar a erosão, o direto e o indireto. Para Barros et al. (2018) os métodos diretos para estipular a erosão hídrica necessitam de experimentos permanentes com coletas contínuas de informações, sendo considerados demorados e de alto custo, já os modelos matemáticos de estimativas da erosão visam reduzir estas limitações e são reconhecidos como relevantes ferramentas para o planejamento ambiental e agrícola.

Um dos modelos mais difundidos de métodos indiretos é a Equação Universal de Perda do Solo (USLE), que pode ser usada com produtos e software sem custo e de forma rápida. A USLE foi formulada na década de 1950, desenvolvida por pesquisadores juntamente com o governo dos Estados Unidos, modelo capaz de estimar e organizar o problema de perda de solo hídrica causada por processos erosivos (PILATTI, 2022).

A USLE é formada por cinco fatores, que são os naturais, a erosividade (R), erodibilidade (K), topográfico (LS), que refletem as condições naturais do ambiente, e os fatores antrópicos, que são o uso e cobertura da terra (C) e as práticas conservacionistas (P).

O fator R é intitulado de erosividade das chuvas, definido com a capacidade da chuva em erodir um solo exposto, para se estimar esse parâmetro se faz necessário a aquisição de registros pluviográficos que armazenam a intensidade da chuva (FERREIRA, 2017).

O fator K reflete a suscetibilidade do solo ao descolamento e transporte de partículas em quantidade e taxa de escoamento para um evento de precipitação pluviométrica particular, para uma parcela padrão (ALVES, 2019).

O fator topográfico (LS) é dividido em comprimento da rampa (L) e declividade do terreno (S), segundo Alves (2019) o efeito dos fatores topográficos nas taxas de erosão do solo depende desses dois parâmetros e da morfologia da encosta na erosão de entrelinhas e na produção de sedimentos.

Alewell et al. (2019) o fator C retrata os efeitos da cobertura de biomassa e das atividades que podem causar perturbações no solo e é dado como a razão entre a perda de solo da terra sob condições particulares e a perda correspondente do pousio contínuo e arado limpo.

O fator (P), por sua vez, expressa a relação entre a perda de solo com uma específica prática conservacionista e a correspondente perda quando a cultura está inserida no sentido do declive (morro abaixo).

Para Alewell et al. (2019) um dos principais motivos pelos quais a modelagem da USLE é tão vastamente usada em todo o mundo é certamente pelo seu grande grau de flexibilidade e acessibilidade de dados, uma parametrização parcimoniosa, ampla literatura científica e a possibilidade de comparação dos resultados que admiti adaptar o modelo a quase todo região do mundo e tipo de condição.

### **2.3 Geotecnologias aplicadas a análise ambiental**

As geotecnologias são definidas como uma área de investigação que produzem soluções, por meio da localização geográfica de objetos e fenômenos, para atividades cotidianas, o setor produtivo e políticas públicas, para tal usa conjuntos de técnicas e metodologias específicas, levando em consideração os dados com um par de coordenadas ligado a um sistema de referência (EMBRAPA, 2022a). Entre as mais comuns estão os produtos de sensoriamento remoto (SR), os sistemas de informação geográficas (SIGs), cartografia digital, *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e topografia automatizada.

Com o progresso do SR, dos SIGs, cartografia digital, GNSS e topografia automatizada é possível analisar e interpretar, por exemplo, a erosão potencial, que é constituída pela junção dos fatores R, K e LS (relacionados aos aspectos físicos naturais das bacias, ou seja, predisposição natural que os solos apresentam à ocorrência de processos erosivos), e a própria

erosão real, na qual a erosão potencial é integrada com os fatores C e P (traduz a perda de solo em decorrência de processos erosivos que sofrem a influência das ações antrópicas).

Alves (2019) aponta que para a implementação de modelos matemáticos como a USLE, as geotecnologias permitem analisar as bacias hidrográficas de forma a compreender como questões ligadas às mudanças ocasionadas por ações antrópicas se comportam no espaço e no tempo. As geotecnologias têm sido utilizadas em larga escala no monitoramento ambiental e controle de processos em todo o Brasil (SANTOS et al., 2021b).

Para Couto Junior et al. (2019) a implementação da USLE em um ambiente de SIG possibilita a integração de técnicas de geoprocessamento, SR e modelagem ambiental, além da criação de bases de dados georreferenciadas que propiciem a produção de documentos cartográficos. Já o SR espacial é uma ferramenta potente em virtude do seu potencial para detectar, pesquisar e mapear a degradação da terra, além de ser eficaz em termos de custos e utilizável para escala local (FARAH et al., 2021).

A realização de processo de modelagem ambiental é possível e de mais fácil execução com o apoio das bases de dados disponibilizadas por órgãos governamentais, importantes para subsidiar esse processo e disponibilizar informações sem custos e com boa qualidade para o planejamento e gestão ambiental, entre os dados disponibilizados podemos citar a precipitação pluviométrica, mapa de solos, *digital elevation model* (DEM), imagens de alta resolução espacial e espectral.

Além do que já foi dito, para realização de uma modelagem de qualidade é relevante levar em consideração as escalas usadas nos produtos cartográficos elaborados. A primeira e mais imediata descrição para escala é feita pela conotação cartográfica, por meio de uma simplória razão de semelhança, demonstrando a razão entre comprimentos no mapa e seu correspondente real em um local (MENEZES e COELHO NETO, 1999). As escalas podem ser divididas em pequena, quando a área, ao ser cartografada, sofreu uma grande redução (exemplo de escalas de 1:500.000 e 1:1.000.000), média, que apresenta relativa precisão (exemplo de escalas de 1:25.000 a 1:250.000) e, escala grande, que permitem a representação com muitos detalhes e precisão (exemplo de escalas de 1:500 a 1:20.000) (IBGE, 1985).

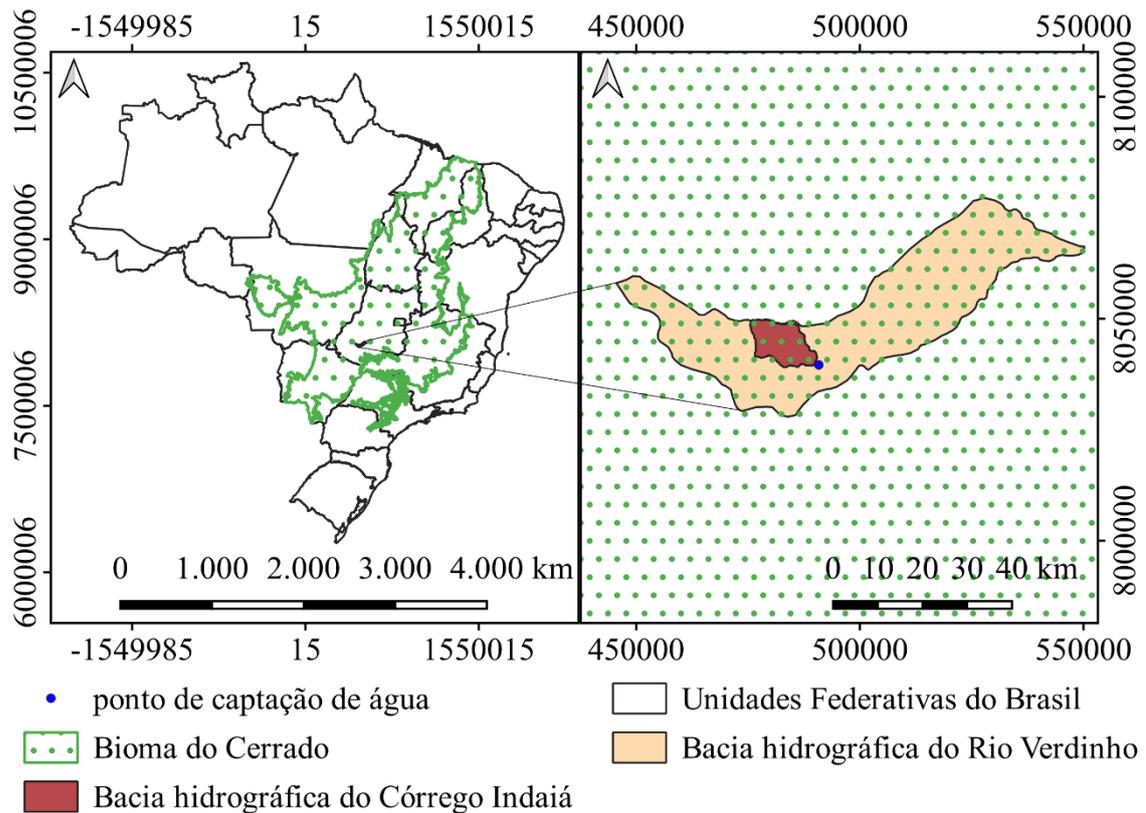
Muitos produtos são disponibilizados por órgãos governamentais na escala pequena e média, geralmente 1:250.000, impossibilitando uma análise adequado ou representativa de áreas pequenas, como as bacias hidrográficas de cabeceira ou microbacias, necessitando de refinamento para uma escala grande (por exemplo, de 1:10.000). Quando as escalas são pequenas e o nível de detalhamento exigido é alto há a necessidade da realização de refinamento para a aquisição de um mapeamento com maior precisão e acurácia.

Além da influência na qualidade de água oferecida, outro ponto importante para realização de estudos na BHCI é a comprovação de locais que já apresentam processos erosivos, o que pode impactar negativamente na produção agropecuária da região, com a diminuição dos solos agricultáveis. Nos estudos desenvolvidos por Alves (2019) e Alves et al. (2021) na BH do Rio Verdinho (com escala de 1:150.000) o autor constatou que a bacia é exposta a grave risco de erosão do solo, com presença de extensas erosões laminar, em sulco, ravinas e voçoroca, as quais, tendem a um crescimento, caso não sejam implementadas ações para estabilizá-las. O autor ainda afirma que os processos erosivos também podem comprometer a qualidade da água destinada ao abastecimento público, contribuindo com o carreamento de pesticidas (prejudicial à saúde pública, à biodiversidade aquática etc.), aumento da turbidez (pode comprometer a qualidade do tratamento de água), carreamento excessivo de nutrientes (pode promover a eutrofização), assoreamentos dos canais hídricos entre outros. Com isso, fica evidente a necessidade de estudos mais refinados, com uma área menor (microbacia), em escala de precisão maior.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização e Caracterização Geral da Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do Córrego Indaiá (BHCI) tem aproximadamente 107,82 km<sup>2</sup> de área total, encontra-se no quadrante com coordenadas geográficas 17°38'2.63"S/51°14'2.67"O, 17°44'24.38"S/ 51°14'0.62"O, 17°37'54.36"S/ 51°5'20.72"O e 17°44'19.29"S/ 51° 5'14.60"O. Fica inserida no bioma cerrado, mais especificamente na bacia hidrográfica do Rio verdinho, município de Rio verde, Goiás – Brasil (Figura 1). O município apresenta uma população estimada de 241.518 habitantes (IBGE, 2021). É importante ressaltar que o córrego Indaiá é afluente do Rio Verdinho, futura fonte de captação de água para o abastecimento da população urbana do município de Rio Verde (GO), além de ter grandes áreas com projetos de irrigação.



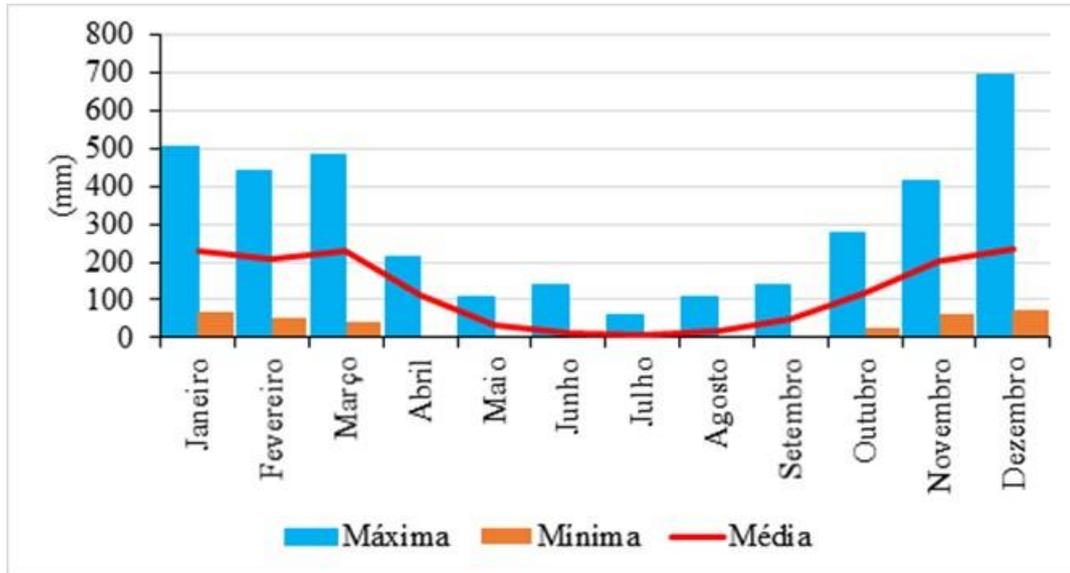
**Figura 1.** Localização da bacia hidrográfica (BH) do Córrego Indaiá, Goiás, Brasil. Fonte: Elaborado pela autora (2022) a partir de dados compilados do site do SIEG (2020), organizado no Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.

A geologia na bacia é dividida em 4 classificações, Unidade Coberturas detríticas indiferenciadas (67,67%), seguida por Grupo Bauru - Formação Vale do Rio do Peixe (28,49%), Depósitos aluvionares (4,96%) e em menor quantidade a classe de Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (3,78%), todas provenientes de rocha sedimentar. A Unidade Coberturas detríticas indiferenciadas é formada pelas coberturas residuais ou transportadas que sustentam terraços, derivam do retratamento de sedimentos arenosos, constitui-se em areias, siltes, argilas e eventuais cascalheiros cimentados por oxi-hidroxidos de ferro (FERREIRA, 2016).

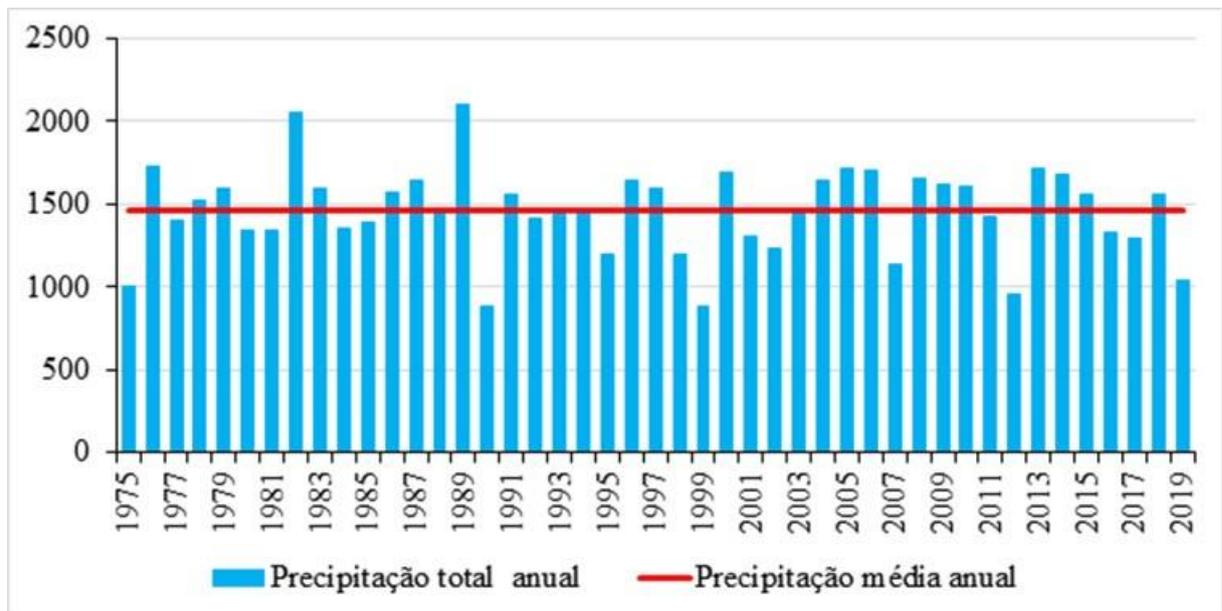
A vegetação natural na maior parte da área foi suprimida por ações antrópicas e substituída por atividades agropecuárias, a predominância e o aumento de áreas agrícolas de 1986 para 2016 foram devido principalmente aos aspectos físicos (Latosolos e declividades baixas), clima, vias de acesso e políticas públicas, entre elas o Programa Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento do Cerrado – PRODECER e Programa Para o Desenvolvimento do Cerrado – POLOCENTRO) benéficos a esse tipo de uso com produtividade competitiva no mercado internacional (ALVES, 2019).

O clima da região de estudo seguindo o método proposto por Köppen-Geiger é enquadrada no tipo AW, clima tropical com estação seca no inverno (CARDOSO et al., 2014).

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os dados de precipitação pluviométrica na área de estudo.



**Figura 2.** Precipitação mensal mínima, máxima e média (mm) para a área de estudo, no período de 1975 a 2019. Fonte: Elaborado pela autora (2022) a partir de dados compilados da estação pluviométrica nº 1751004, nomeada de Montividiu (ANA, 2020).



**Figura 3.** Precipitação total e média anual (mm) para a área de estudo, no período de 1975 a 2019. Fonte: Gráfico elaborado pela autora (2022) a partir de dados compilados da estação pluviométrica nº 1751004, nomeada de Montividiu (ANA, 2020).

É possível perceber que os meses mais chuvosos na região são de outubro a abril, com o mês de dezembro apresentando o maior volume de precipitação, já os meses com menor precipitação pluviométrica são os de maio a setembro, com julho tendo o menor volume (Figura 2). As precipitações totais anuais variaram em relação à média, sendo que os anos 1976, 1982 e 1989 apresentaram os maiores volumes de precipitação, e os anos com menor são os de 1990 e 1999 (Figura 3).

### **3.2 Bases de Dados**

A seguir são apresentadas as bases de dados usadas que foram utilizadas neste estudo:

- a) A rede de drenagens da base cartográfica vetorial digital atualizada do produto BC100/GO\_DF, produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:100.000, disponibilizada pelo SIEG (2019) Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG);
- b) O Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal, na escala 1:500.000, formato shapefile (shp), geração 13 de abril de 2009, pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC), disponibilizado SIEG (SIEG, 2020);
- c) O mapa de solos disponibilizado na plataforma do Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos) (administrada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)), gerado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), na escala de 1:250.000 (CPRM, 2020).
- d) A precipitação pluviométrica de estações pluviométricas do banco de dados da página HidroWeb, administrado pela ANA (2020), ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), sob a gestão da Agência Nacional de Águas (ANA) do Brasil;
- e) O Modelo Digital de Elevação do satélite Advanced Land Observing Satellite (Alos) sensor de microondas PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) Palsar, correspondente à cobertura da área de estudo, com resolução espacial de 12,5 m x 12,5 m, disponibilizado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA); e
- f) Imagens do sensor Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) do satélite China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS), em específico o CBERS 04A, que possibilita gerar imagens com resolução espacial de 2 metros, fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021).

### 3.3 Procedimentos metodológicos

Todos os procedimentos metodológicos foram feitos com a utilização do software livre QGIS versão 3.16.10.

A obtenção dos valores de perda do solo foi feita a partir da USLE, adaptada por Lombardi Neto e Moldenhauer (1977) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (2014) a partir da USLE de Wischmeier e Smith (1978). Conforme apresentando na Equação 1 (E1):

$$A = R * K * LS * C * P \quad (E1)$$

Na qual: A é a perda de solo por erosão (tn.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); R, o fator de Erosividade da chuva (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); K, o fator de erodibilidade do solo (tn.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>); LS, o fator topográfico englobando o comprimento de rampa (L) e a declividade (S) (adimensional); C, o fator de uso e cobertura da terra (adimensional); e P, o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Para estimar a erosão real para o período chuvoso e seco foi feita uma adaptação com a utilização do fator R correspondente a cada período, os restantes dos fatores continuaram com os mesmos valores.

#### 3.3.1 Fator de erosividade da chuva (R)

O fator R foi confeccionado de séries históricas de precipitação de estações pluviométricas (Tabela 1), com dados de duração de no mínima 45 anos, situadas o mais próximo possível da área de estudo.

**Tabela 1.** Localização e período de obtenção dos dados das estações pluviométricas

Nome da Estação	Código da Estação	Latitude (S)	Longitude (O)	Período
Ponte rio Verdão	1750003	17°32'29.04"S	50°33'21.96"O	1975 a 2020
Ponte rio Doce	1751001	17°51'23.04"S	51°23'48.12"O	1973 a 2020
Montividiu	1751004	17°21'52.92"S	51° 4'36.12"O	1975 a 2020
Maurilândia	1850003	17°58'46.92"S	50°20'13.92"O	1975 a 2020

Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados disponibilizados pela ANA (2020).

Esses dados foram compilados em planilha eletrônica e calculadas as médias mensais de precipitação para aplicação da fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2014) de modo a determinar a erosividade da chuva (R) (Equação 2 (E2)). Conforme destaca Bertoni e Lombardi Neto (2014), esta equação estima o fator de erosividade para períodos longos de vinte ou mais anos.

$$R = 67,355 \left( \frac{r_i^2}{P} \right)^{0,85} \quad (\text{E2})$$

Na qual: R é o fator de erosividade da chuva ( $\text{MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$ ); r, a precipitação média mensal para o mês escolhido (mm); P, a precipitação média anual (mm).

Para o valor erosividade para o período chuvoso e seco foi feita uma adaptação com a utilização do fator R correspondente a cada período, que foi gerada com a utilização do software livre QGIS versão 3.16.10.

Para comparação do valor anual foi usada a classificação proposta por Carvalho (2008) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Classificação proposta por Carvalho em  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

Classes de Erosividade	Erosividade ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ )
Baixa	$R < 2.452$
Média	$2.452 < R < 4.905$
média a forte	$4.905 < R < 7.357$
Forte	$7.357 < R < 9.810$
muito forte	$R > 9.810$

Fonte: Carvalho (2008).

### 3.3.2 Fator de erodibilidade do solo (K)

Para refinamento do mapa de solos, com resolução de 1 m, foi feito a correção do DEM Alos Palsar, seguindo o procedimento de Oliveira (2017), que utiliza uma série de passos para remoção dos pixels inconsistentes, atribui novos valores aos pixels com anomalias (com base nas informações dos vizinhos mais próximo), e refinamento de 12,5 m para 1 m na resolução espacial. O DEM foi utilizado para confecção do modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND), seguindo as classes segundo Rennó et al. (2008).

Para uma análise mais detalhada/representativa foi feito refinamento do mapa de solos disponibilizado na plataforma PronaSolos. O PronaSolos foi criado em atendimento ao Acórdão nº 1942/2015 do Tribunal de Contas da União (TCU) e sancionado pelo Decreto Nº 9.414 de 19 de junho de 2018, e é o maior programa de investigação do solo brasileiro e vai concretizar a integração de dados e contribuir com o avanço do conhecimento das terras no país, o objetivo é mapear os solos de 1,3 milhão de km<sup>2</sup> do país nos primeiros dez anos e mais 6,9 milhões de km<sup>2</sup> até 2048, (escalas que vão de 1:25.000 a 1:100.000) (EMBRAPA, 2021b). O refinamento foi feito de acordo com a proposta de Moura et al., (2020), seguindo as seguintes classificações:

- Gleissolos: buffer de 30 metros ao longo dos cursos hidrográficos, comparado em seguida o mapa de declividades, para identificação das áreas coincidentes com inclinação do relevo entre 0 e 3%;
- Latossolos: os locais com declividade entre 0 e 6% quando fora do buffer de 30 metros dos mananciais;
- Argissolos ou Nitossolos: as faixas com declividade entre 6 e 12% foram pré-classificadas como argissolos ou nitossolos, dependendo do material de origem e das condições de relevo;
- Os Cambissolos: relevo ondulado e vertentes com inclinação igual ou superior a 12%, e eventualmente em declividades menores, quando a litologia é constituída por granitos, com grande presença de afloramentos.
- Neossolos Litólicos: os locais com declividade superior a 20%, que dominam nas áreas de relevo ondulado a forte-ondulado e eventualmente ocorrem em declividades inferiores a 20%.

Para melhor entender os valores de erodibilidade os resultados encontrados foram comparados com a classificação de Manningel et al. (2002), conforme a Tabela 3.

**Tabela 3.** Classificação dos solos em função do fator da erodibilidade (K)

Classes de Erodibilidade	Erodibilidade (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )
Extremamente alto	$K < 0,0600$
Muito alto	$0,0450 < K < 0,0600$
Alto	$0,0300 < K < 0,0450$
Médio	$0,0150 < K < 0,0300$
Baixo	$0,0090 < K < 0,0150$
Muito baixo	$K > 0,0090$

Fonte: Manningel et al. (2002).

### 3.3.3 Fator topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) foi elaborado a partir da Imagem Alos Palsar, correspondente à cobertura da área de estudo. A partir das imagens foram calculados a direção de fluxo, usada para cálculo da acumulação de fluxo e por último foi feito o declive. Em seguida essas variáveis foram utilizadas na Equação 3 (E3) proposta por Pelton, Frazier e Pickilingis (2012) para obtenção do fator LS.

$$LS = \text{Power}(fa * [cr]/22.1, 0.4) * \text{Power}(\sin(\text{slope} * 0.01745)/0.09, 1.4) * 1.4 \quad \text{E3}$$

Na qual: LS é o fator topográfico; fa, o fluxo acumulado; [cr], a resolução da célula; e slope, a declividade

### 3.3.4 Fator de uso e cobertura da terra (C)

O ano escolhido para o estudo foi 2021, e as imagens utilizadas foram do satélite CBERS – 04A, considerando as bandas pancromática (2 m de resolução), banda 1, banda 2, banda 3 e banda 4, (as 4 com 8 m de resolução), com resolução de 2 m depois da fusão das bandas. Inicialmente foram feitas classificações supervisionadas por meio do Plugin de Classificação Semiautomática do software livre QGIS versão 3.16.10, em seguida foram feitas correções manuais e por último as correções topológicas. Os índices do fator C para cada uso foram retirados da literatura (Tabela 4).

**Tabela 4.** Uso e cobertura da terra e fator C

Categoria	C	Fonte
Cerradão	0,00030	Helfer et al. (2003)
Mata ciliar/galeria	0,012	Farinasso et al. (2006)
Construção rural	0,00	Helfer (2003)
Campo sujo	0,05	Helfer (2003)
Pastagem	0,125	Bertoni e Lombardi Neto (2014)
Eucalipto	0,12	Silva et al. (2014)
Agricultura	0,2	Barbosa et al. (2015)

Fonte: Elaborada pela autora (2022) com base nos trabalhos citados nesta tabela.

### 3.3.5 Manejo e práticas conservacionistas do solo (P)

Para determinação do fator P foi utilizada a imagem classificada na etapa anterior, com auxílio do Google Earth Pro e os índices definidos a partir de literatura especializada, do livro de Bertoni e Lombardi Neto (2014). Para o trabalho foram consideradas apenas três classes de práticas conservacionistas, apresentadas na Tabela 5. Para os usos construção rural e eucalipto foram utilizados os valores correspondentes das classes ao entorno.

**Tabela 5.** Valor do fator P para manejo e práticas conservacionistas

Práticas conservacionistas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno/terraço	0,5
Cordões de vegetação permanente	0,2 <sup>a</sup>

Fonte: Elaborado pela autora (2022) com o auxílio do trabalho de Bertoni e Lombardi Neto (1999)<sup>a</sup>.

### 3.3.6 Integração dos fatores (erosão potencial e erosão real)

A erosão potencial para o período chuvoso e seco foi feita por intermédio do produto dos fatores R por período, K e LS. Já a erosão potencial anual considerou o valor do produto do fator R anual, K e LS. A erosão real para o período chuvoso e seco foi gerada por meio do

produto da erosão potencial para cada um desses períodos e dos fatores de uso e cobertura da terra e manejo e práticas conservacionistas, já a erosão anual, pelo produto da erosão potencial anual e os mesmos fatores já mencionados.

### 3.3.7 Classificação e análise dos resultados

Os resultados encontrados para a erosão potencial anual foram classificados e interpretados conforme a proposta de Valério Filho (1994) (Tabela 6).

**Tabela 6.** Classificação da erosão potencial

Perda de solo (t.mm.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Classes de interpretação
0 – 400	Fraca
400 – 600	Moderada
600 – 1600	Média
1600 – 2400	Forte
> 2400	Muito forte

Fonte: Valério Filho (1994).

Para melhor entender e analisar os resultados da erosão real anual, os valores encontrados foram classificados e interpretados conforme a proposta de Beskow et al. (2009) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Classificação e categorias de perda de solo para a erosão real

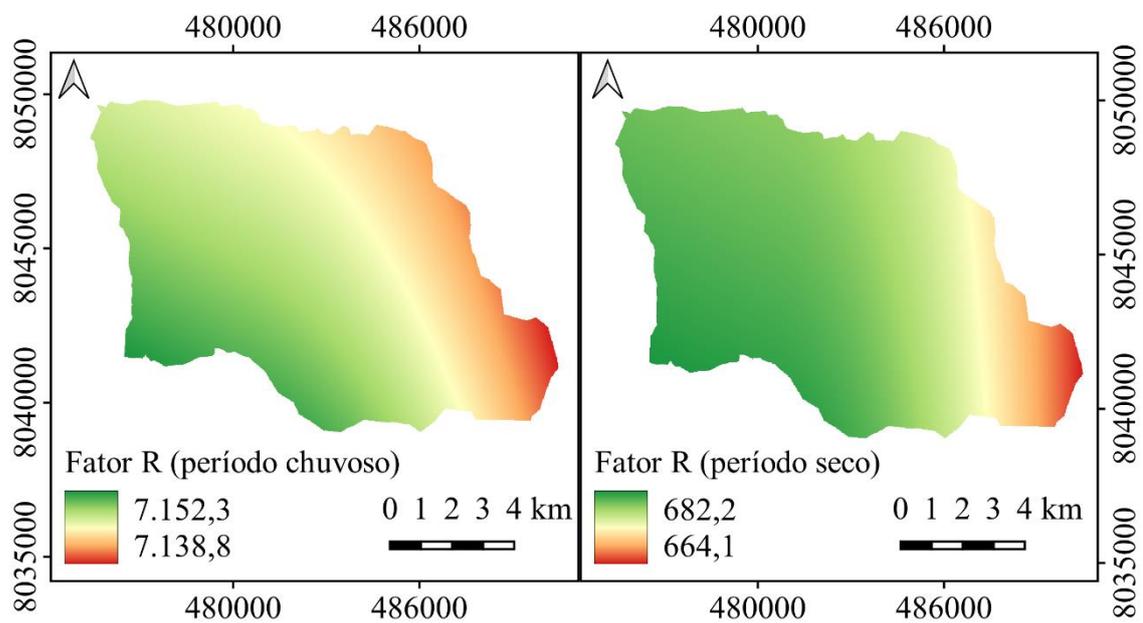
Perda de solo (t.mm.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Categoria
0 - 2,5	(Ligeira)
2,5 – 5	(Ligeira - moderada)
5 – 10	(Moderada)
10 – 15	(Moderada - alta)
15 – 25	(Alta)
25 – 100	(Muito alta)
>100	(Extremamente alta)

Fonte: Beskow *et al.* (2009).

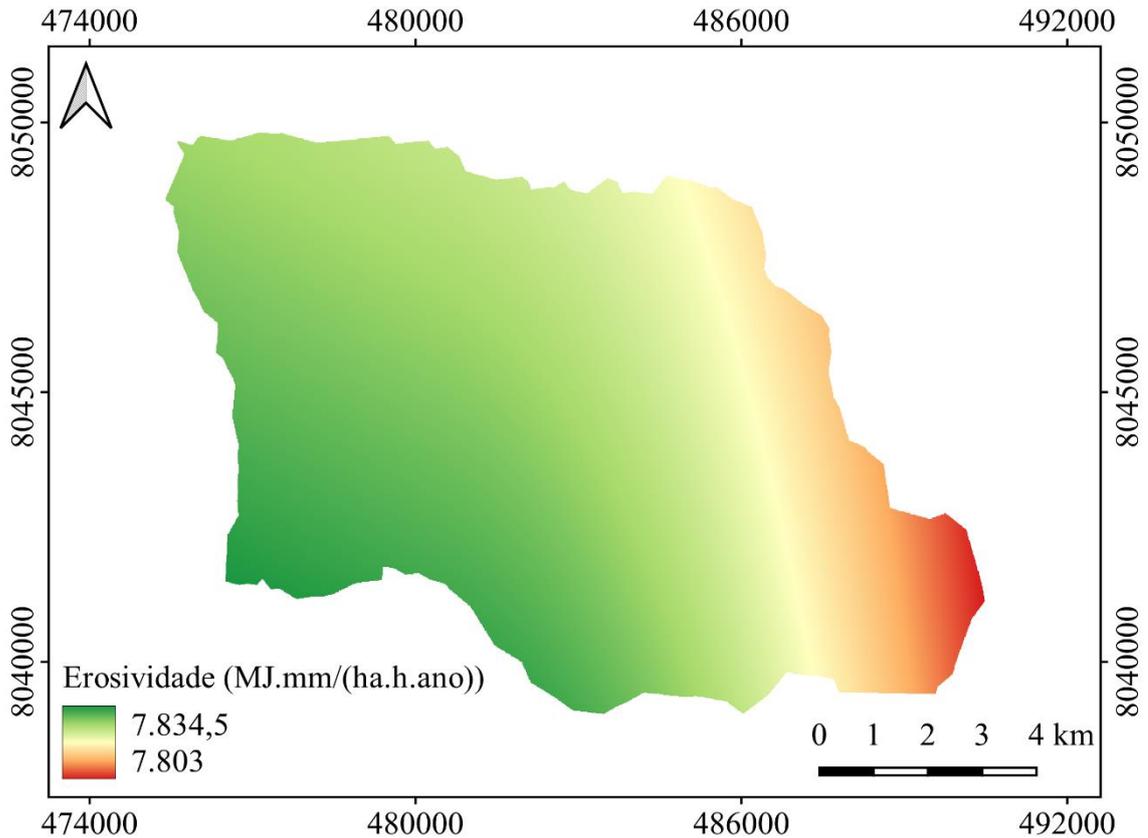
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Erosividade (Fator R)

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os resultados encontrados para o fator R para os períodos chuvoso, seco e a erosividade anual. O período chuvoso apresentou os maiores valores, devido ao maior volume de precipitação, com um valor médio de  $7146,9 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Para o período seco a média foi de  $677,7 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . A erosividade anual foi classificado como erosividade Forte conforme Carvalho (2008), apresentando a média de  $7824,65 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .



**Figura 4.** Mapa de erosividade do período chuvoso e seco da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.



**Figura 5.** Mapa de erosividade anual da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.

Pilatti (2022) estudando a bacia hidrográfica do Rio Montividiu (próxima a do presente estudo) encontrou valores semelhantes, de 7791,83 a 7948,83  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com os meses com maiores erosividades no período chuvoso (dezembro, janeiro, fevereiro e março). A autora explica que, considerando a maior frequência de chuvas, espera-se que as maiores perdas de solo por erosão hídrica aconteçam nesse período.

No estudo feito por Barros et al. (2018) nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno (estado do Tocantins) os resultados encontrados foram superiores ao do presente estudo, com valores de erosividade de 12.966 a 13.759  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e de 11.577 a 12.704  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. Esse resultado pode ser explicado pela diferença nos dados de precipitação média anual, com 1461 mm para bacia do córrego Indaiá e 1.852 e 1.571 mm para o rio Lontra e Rio Manoel Alves Pequeno, na devida ordem. Além do uso de modelos diferentes para determinar o fator R.

## 4.2 Erodibilidade (Fator K)

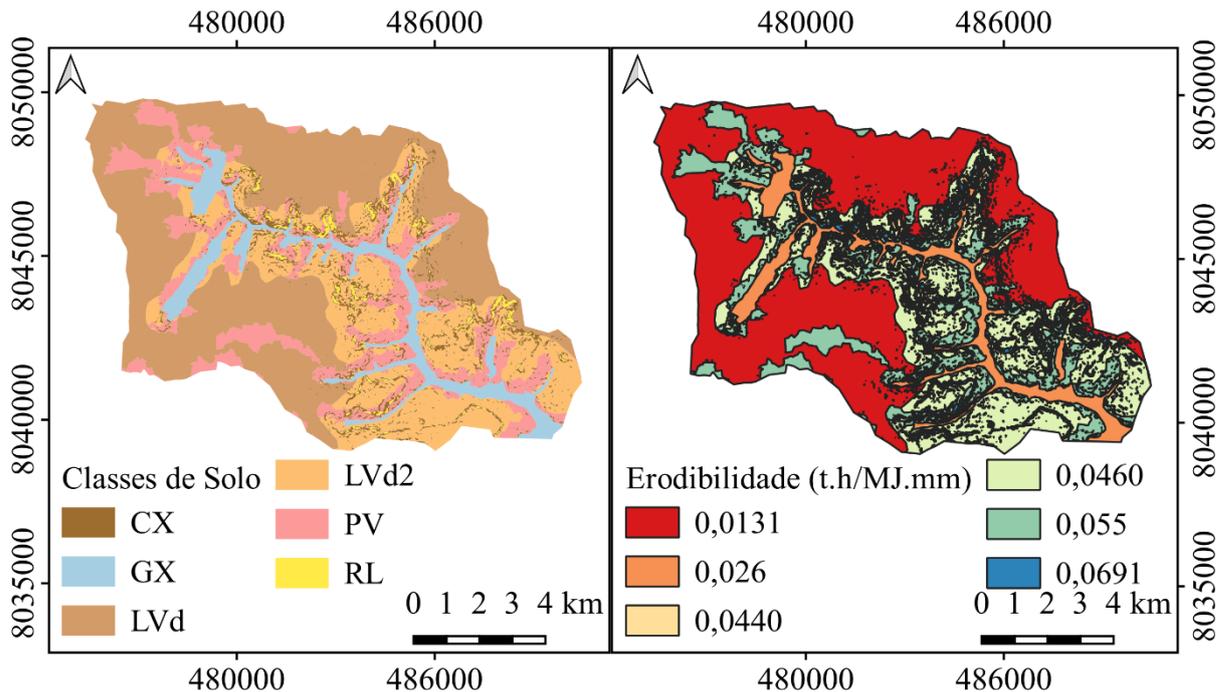
Na Tabela 8 são apresentadas as classes de solos com as respectivas texturas, áreas, valores para erodibilidade e as fontes consultadas. Na Figura 6 são apresentados os resultados geoespacializados das classes de solos e das classes de erodibilidade. A área da bacia apresenta seis classificações de solos, sendo predominante o Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa ou muito argilosa (43,78%), seguido, em ordem decrescente, Latossolo Vermelho Distrófico textura média (21,75%), Argissolo (16,84%), Gleissolo (8,73%), Cambissolo (7,56%) e Neossolo Litólico (1,34%).

De acordo com a classificação de Manning et al. (2002), os resultados de erodibilidade variaram de Extremamente alto a baixo. O maior valor de erodibilidade é de  $0,069 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , associado ao Cambissolo (Extremamente alto), presente ao longo de toda a bacia hidrográfica; o segundo maior valor de erodibilidade observado é de  $0,055 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , encontrado para o Argissolo (Muito alto); seguido por  $0,0046 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$  para o Latossolo Vermelho Distrófico com textura média (Muito alto);  $0,044 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$  para o Neossolo Litólico (Alto);  $0,026 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$  para o Gleissolo (Médio); sendo o menor valor de erodibilidade:  $0,0013 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , associados ao Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa ou muito argilosa (Baixo).

**Tabela 8.** Classes de solos e respectivos índices de erodibilidade da bacia hidrográfica do Córrego Indaiá, Goiás

Classes	Solos	Textura	Área (ha)	Fator K ( $\text{t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ )
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd	Argilosa ou Muito argilosa	4720,5	0,0131 <sup>a</sup>
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd2	Média	2345,3	0,046 <sup>a</sup>
Argissolo	PV	-	1816,2	0,055 <sup>b</sup>
Gleissolo	GX	-	940,8	0,026 <sup>c</sup>
Cambissolo	CX	-	814,9	0,0691 <sup>a</sup>
Neossolo Litólicos	RL	-	144,3	0,044 <sup>a</sup>

Fonte: Dados de solos elaborado a partir do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (RURALMINAS, 2005; SIC, 2005; SGM, 2005; SIEG, 2017; UFV, 2005), atualizado conforme Santos et al. (2018), sendo os valores de erodibilidade de <sup>c</sup>Duarte et al. (2020); <sup>b</sup>Demarchi e Zimback (2014); <sup>a</sup>Lima et al. (2016).



**Figura 6.** Mapa das classes de solos e de erodibilidade da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S. CX: Cambissolo; GX: Gleissolo; LVd: Latossolo Vermelho Distrófico textura Argilosa ou Muito argilosa; LVd2: Latossolo Vermelho Distrófico textura Média. PV: Argissolo; RL: Neossolo Litólicos.

O cambissolo foi o único tipo de solo classificado como erodibilidade Extremamente alta. Segundo Zaroni e Santos (2022a) em ambientes de relevos mais declivosos, os cambissolos mais rasos mostram grandes limitações para o uso agrícola ligados à mecanização e à elevada suscetibilidade aos processos de erosão.

Os argissolos e Latossolos de textura média também apresentaram altos valores, classificados como erodibilidade Muito alta, Zaroni e Santos (2022b) afirmam que o argissolo tende a ser mais sujeito ao processo de erosão em razão da relação textural, que provoca diferenças de infiltração dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Segundo Sousa e Lobato (2022), os Latossolos de textura média, com teores altos de areia, têm semelhanças com as Areias Quartzosas, sendo sujeito à erosão, necessitando de tratamentos conservacionistas e manejo cauteloso.

Para os Neossolo Litólicos o valor de erodibilidade foi classificado como Alto, de acordo com Santos, Zaroni e Almeida (2021) as limitações ao uso estão ligadas a pouca profundidade, presença de declives acentuados e rocha relacionadas às áreas de ocorrência, estes fatores limitam o crescimento das raízes, o uso de máquinas e aumentam o risco de erosão.

Uma das categorias de solo com menor potencialidade a perda de solos é o Gleissolo, com ocorrência próxima aos corpos hídricos. No estudo desenvolvido por Moraes e Sales (2017)

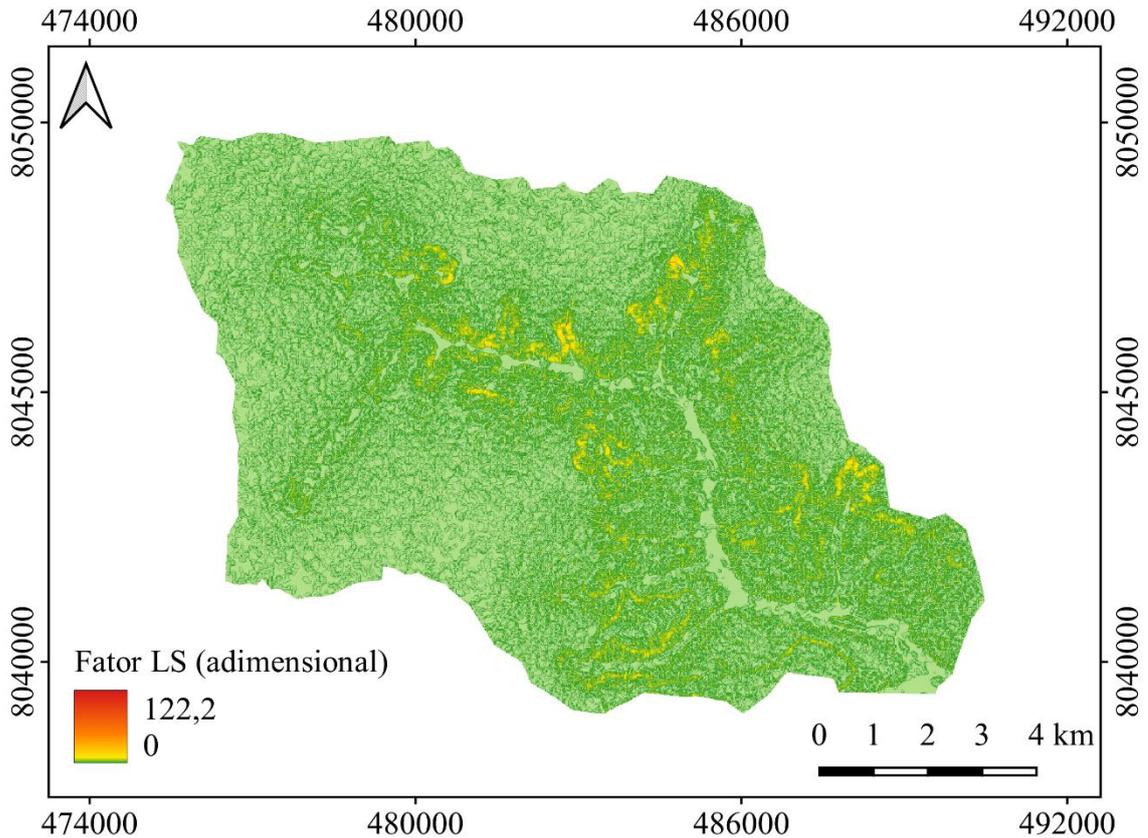
sobre a estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do alto Gurguéia (PI), os autores afirmaram que dentre as principais classes de solos observadas com baixa e muito baixa susceptibilidade à erosão, evidenciam-se os Gleissolos, localizados especialmente nas áreas de cabeceiras, normalmente associados ao ambiente úmido das veredas.

O solo com menos valor de erodibilidade foi o Latossolos Vermelhos distróficos textura Argilosa ou Muito argilosa, o grande conteúdo de argila e matéria orgânica dos mesmos proporcionam maior resistência ao processo erosivo. Para Santos e Zaroni (2022) os latossolos são geralmente resistentes aos processos erosivos, graças às boas condições físicas, todavia, constata-se que a utilização intensiva de mecanização tem causado a compactação destes solos, tornando-os mais sujeitos à erosão.

Assim como no presente trabalho, no estudo realizado por Miguel et al. (2021) da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim (RS) os maiores valores do fator K foram encontrados em áreas em que há predominância de solos mais rasos, como os Neossolos Litólicos, e combinações de Cambissolo-Neossolo e Neossolo Litólico-Neossolo Regolítico. Segundo os autores isso está ligado à textura franco arenosa dos solos.

### **4.3 Fator Topográfico (Fator LS)**

Na Figura 7 são apresentados os resultados geoespacializados para o fator LS, que apresentou valores de 0 a 122,2, com média de 0,97. Observou-se que os maiores números são associados às áreas próximas à rede de drenagem.



**Figura 7.** Mapa do fator topográfico (Fator LS) da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.

Ao analisar os locais com os maiores resultados para o Fator topográfico, foi possível perceber que eles estão localizados nas áreas próximas a drenagem, o que coincide com as áreas de maior valor de erosão potencial e real.

No estudo realizado por Alves (2019) na bacia do rio Verdinho, também localizada no estado de Goiás, os maiores resultados de perdas de solos têm ligação, sobretudo, com as áreas que apresentam maior erodibilidade dos solos (Neossolo, Argissolo e Nitossolo) e maiores valores para o fator LS.

#### 4.4 Erosão Potencial

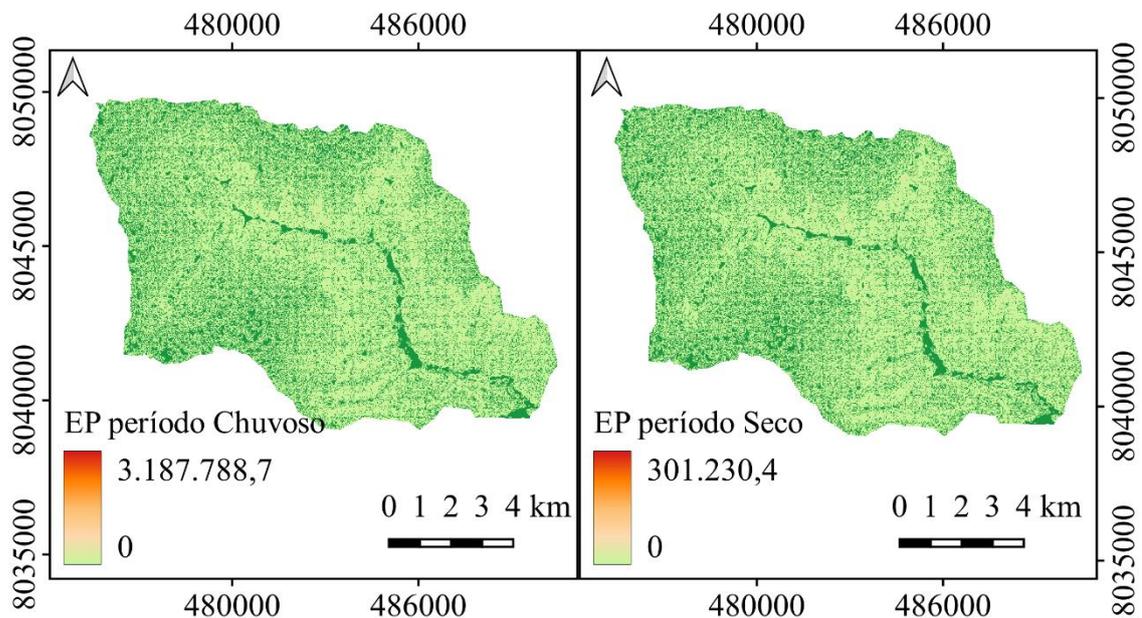
Os fatores R, K e LS foram integrados, gerando o produto cartográfico sobre a erosão hídrica potencial. Na Tabela 9 são apresentadas as classes de erosão potencial segundo Valério Filho (1994) e as respectivas áreas correspondentes dessas classes para as erosões potenciais para o período seco, chuvoso e anual, e nas Figuras 8 e 9 os resultados são geoespacializados, em ordem. Os resultados variaram de 0 a 3.187.778,7 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, e média de 28.171,1 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o período chuvoso e de 0 a 301.230,4 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> com média de 2.669,9 para período

seco. Já para a erosão anual o valor encontrado foi de 0 a 3.489.021,5, com média de 30.840,9 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

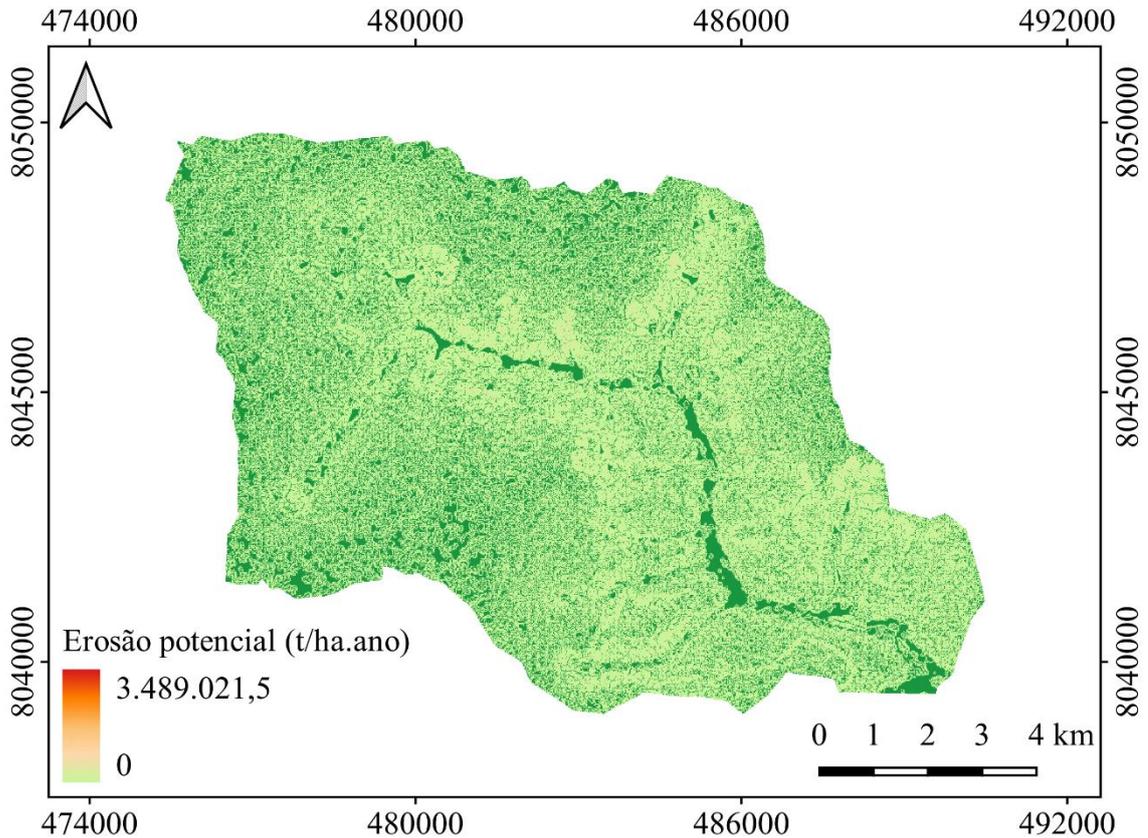
**Tabela 9.** Erosão hídrica potencial anual e para os períodos chuvoso e seco na Bacia hidrográfica do Córrego Indaiá, Rio Verde, Goiás

Perda de solo (t.mm.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Classes de interpretação	EP anual		EP chuvoso		EP seco	
		ha	%	ha	%	ha	%
0 - 400	Fraca	3073,1	28,5	3084,2	28,6	3822,3	35,5
400 - 600	Moderada	36,0	0,3	37,1	0,3	213,9	2,0
600 - 1600	Média	123,5	1,1	131,2	1,2	1236,8	11,5
1600 - 2400	Forte	88,1	0,8	97,9	0,9	1095,6	10,2
> 2400	Muito forte	7461,5	69,2	7431,7	68,9	4413,4	40,9

Fonte: Elaborado pela autora com base em Valério Filho (1994). EP: erosão potencial.



**Figura 8.** Mapa da erosão potencial para os períodos chuvoso e seco da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.



**Figura 9.** Mapa da erosão potencial anual da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.

Os maiores resultados de potencialidade de perda de solos foram encontrados próximos da drenagem da bacia hidrográfica, associados a altos valores do fator topográfico (LS) e principalmente ao valor de erodibilidade do Cambissolo, Argissolo, Latossolo Vermelho Distrófico com textura média.

Por meio da Tabela 9 foi possível perceber uma redução da perda do solo da classe Muito Forte do período chuvoso para o seco (68,9% para 40,9%), além do período chuvoso representar aproximadamente 91,32% de toda erosão potencial anual, o que mostra como o fator R tem influência nos processos erosivos, além da importância de manter os solos com cobertura vegetal durante as épocas de chuva. A identificação dos valores da erosividade ao longo do ano, possibilita reconhecer os meses nos quais os riscos de perdas de solo e água são maiores, o que permite realizar o planejamento apropriado do preparo do solo, período de colheita e plantio segundo as exigências de cada cultura (FLORENTIM et al., 2021).

Assim como no presente estudo, Florentim et al. (2021), estudando a bacia hidrográfica do Córrego Fundo, Aquidauana (MS), afirmaram que os meses de maiores erosividade estão ligados com os períodos chuvosos da região.

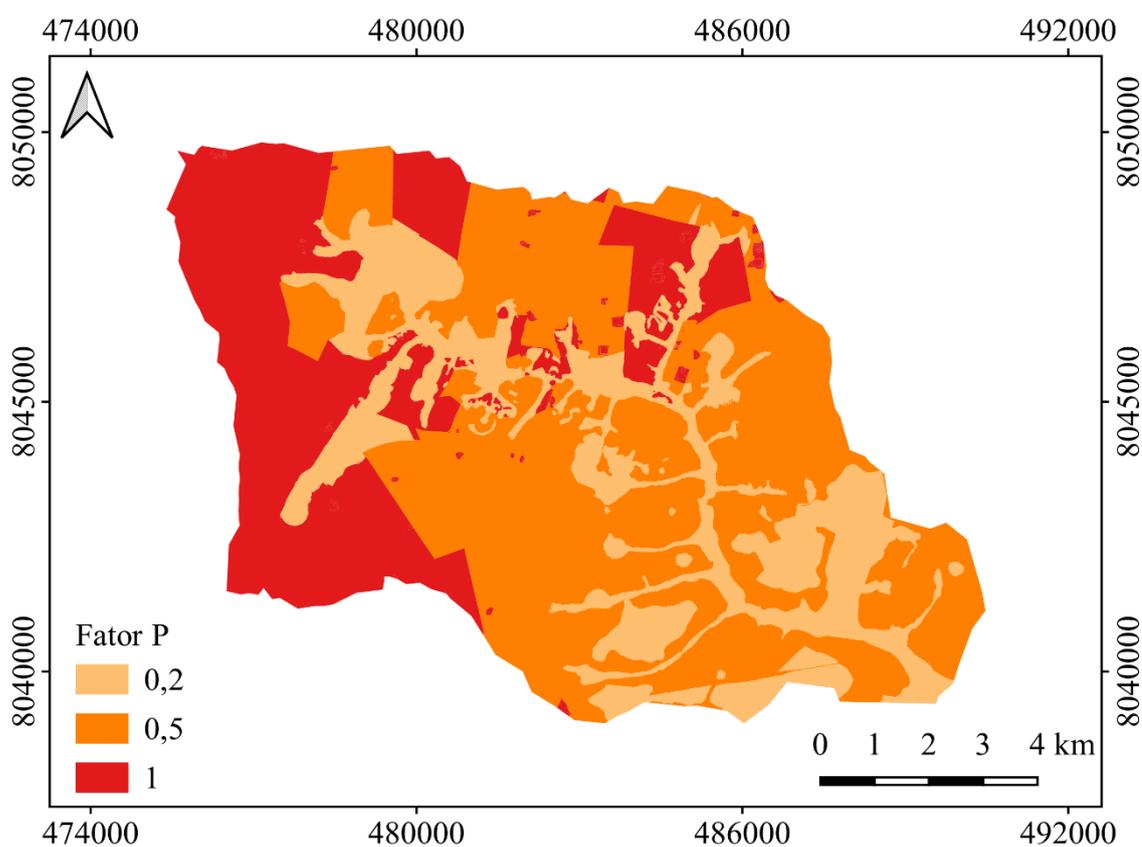
#### 4.5 Fator de manejo e práticas conservacionistas

Na Tabela 10 são apresentadas as classes de manejos e práticas conservacionistas e as respectivas áreas para cada classe de solo. Na Figura 10 são apresentados os resultados geoespacializados para esse fator.

**Tabela 10.** Valor do fator P para manejo e Práticas conservacionistas

Práticas conservacionistas	Valor de P	Áreas	%
Plantio morro abaixo	1,0	2565,8	23,8
Plantio em contorno/terraço	0,5	5243,3	48,6
Cordões de vegetação permanente	0,2 <sup>a</sup>	2973,0	27,6
Total		10782,1	100

Fonte: Elaborado pela autora (2021) com o auxílio do trabalho de Bertoni e Lombardi Neto (1999)<sup>a</sup>.



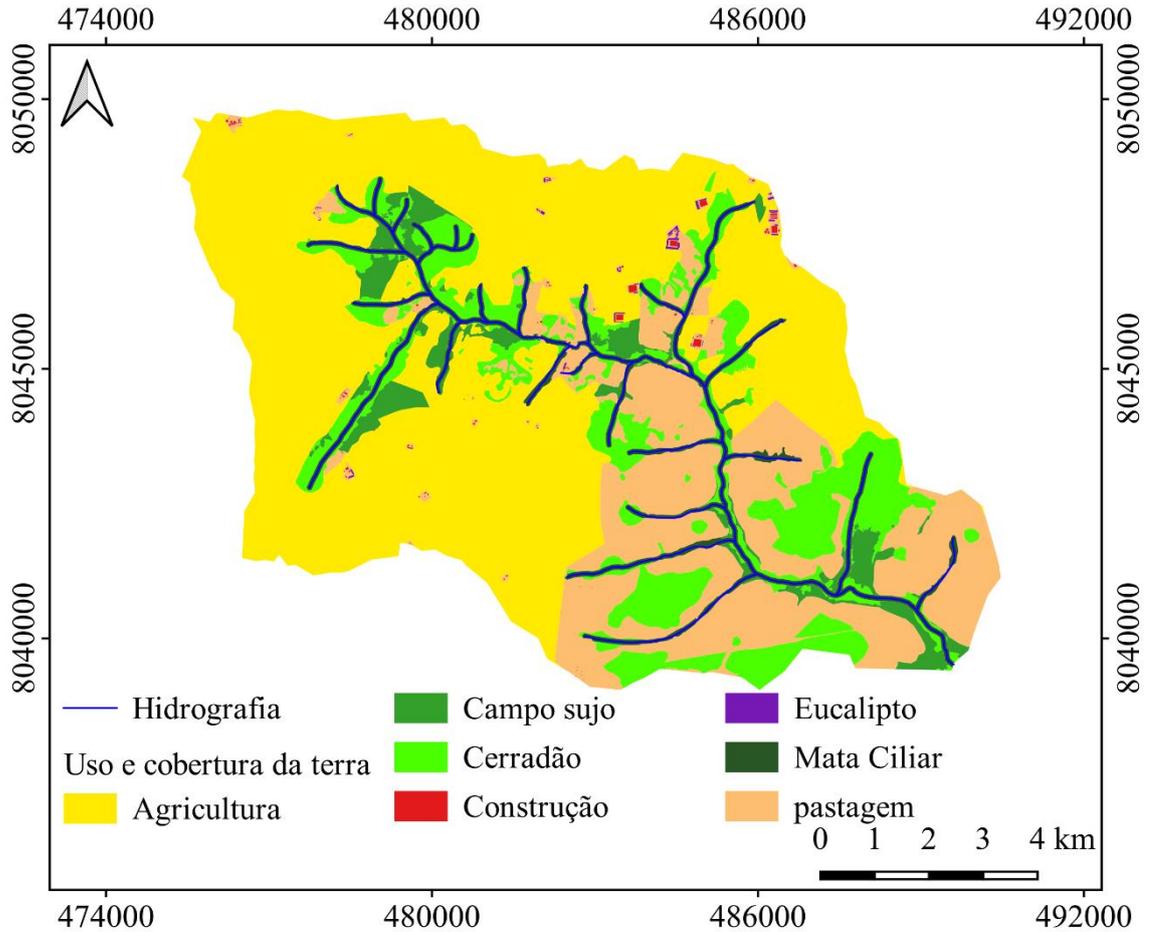
**Figura 10.** Mapa do Manejo e práticas conservacionistas da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.

Devido a área de estudo ser uma região onde a agricultura é desenvolvida, com uso de tecnologias, maior parte da bacia apresenta Plantio em contorno/terraço (48,63%). Porém, aproximadamente 27,29% da bacia utiliza Plantio morro abaixo, o que pode acarretar problemas como a erosão, perda de produtividade, diminuição da oferta de alimentos, enxurradas e da qualidade da água, pelo carreamento de partículas.

O plantio em linha reta morro abaixo não é indicado para o Bioma do Cerrado, nesse bioma, as rampas podem ter mais de 1 km de comprimento, no fim da rampa, a energia cinética e a velocidade da enxurrada são maiores, de tal modo que o potencial erosivo é superior, a enxurrada pode carregar nutrientes como nitrogênio e fósforo, dissolvidos na água, além de pesticidas, o que eleva o potencial de poluição dos cursos hídricos (EMBRAPA, 2022c).

#### **4.6 Fator C**

Nas Tabelas 11, 12 e 13 e Figura 11 são apresentados os tipos de uso e cobertura da terra nas categorias de erosão potencial anual, períodos chuvoso e seco e a espacialização do uso e cobertura da terra, respectivamente.



**Figura 11.** Mapa do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.

**Tabela 11.** Uso e cobertura da terra nas categorias de erosão potencial anual na bacia hidrográfica do Rio Formoso, Goiás – Brasil.

Uso e cobertura da terra (km <sup>2</sup> )	Classe de erosão potencial (km <sup>2</sup> )					Total
	(Fraca)	(Moderada)	(Média)	(Forte)	(Muito forte)	
pastagem	440,6	2,8	11,1	8,3	1894,8	2357,5
Agricultura	1981,7	24,6	81,6	55,0	3685,3	5828,2
Campo sujo	135,9	2,2	8,1	6,5	314,4	467,2
Cerradão	301,6	3,0	10,8	8,7	1202,7	1526,7
Construção	5,2	0,1	0,2	0,1	12,2	17,8
Eucalipto	3,5	0,0	0,1	0,1	9,4	13,2
Mata Ciliar	203,5	3,3	11,5	9,3	343,9	571,5
Total Geral	3072,1	35,9	123,4	88,0	7462,7	10782,1

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

**Tabela 12.** Uso e cobertura da terra nas categorias de erosão potencial para o período chuvoso na bacia hidrográfica do Rio Formoso, Goiás – Brasil.

Uso e cobertura da terra (km <sup>2</sup> )	Classe de erosão potencial (km <sup>2</sup> )					Total
	(Fraca)	(Moderada)	(Média)	(Forte)	(Muito forte)	
pastagem	441,5	3,0	11,8	9,3	1891,8	2357,5
Agricultura	1989,2	25,3	86,4	59,5	3667,9	5828,2
Campo sujo	136,6	2,3	8,7	7,8	311,9	467,2
Cerradão	302,5	3,0	11,6	10,2	1199,4	1526,7
Construção	5,3	0,0	0,2	0,1	12,1	17,8
Eucalipto	3,5	0,0	0,1	0,1	9,4	13,2
Mata Ciliar	204,5	3,4	12,3	10,9	340,4	571,5
Total Geral	3083,2	37,1	131,1	97,8	7432,9	10782,1

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

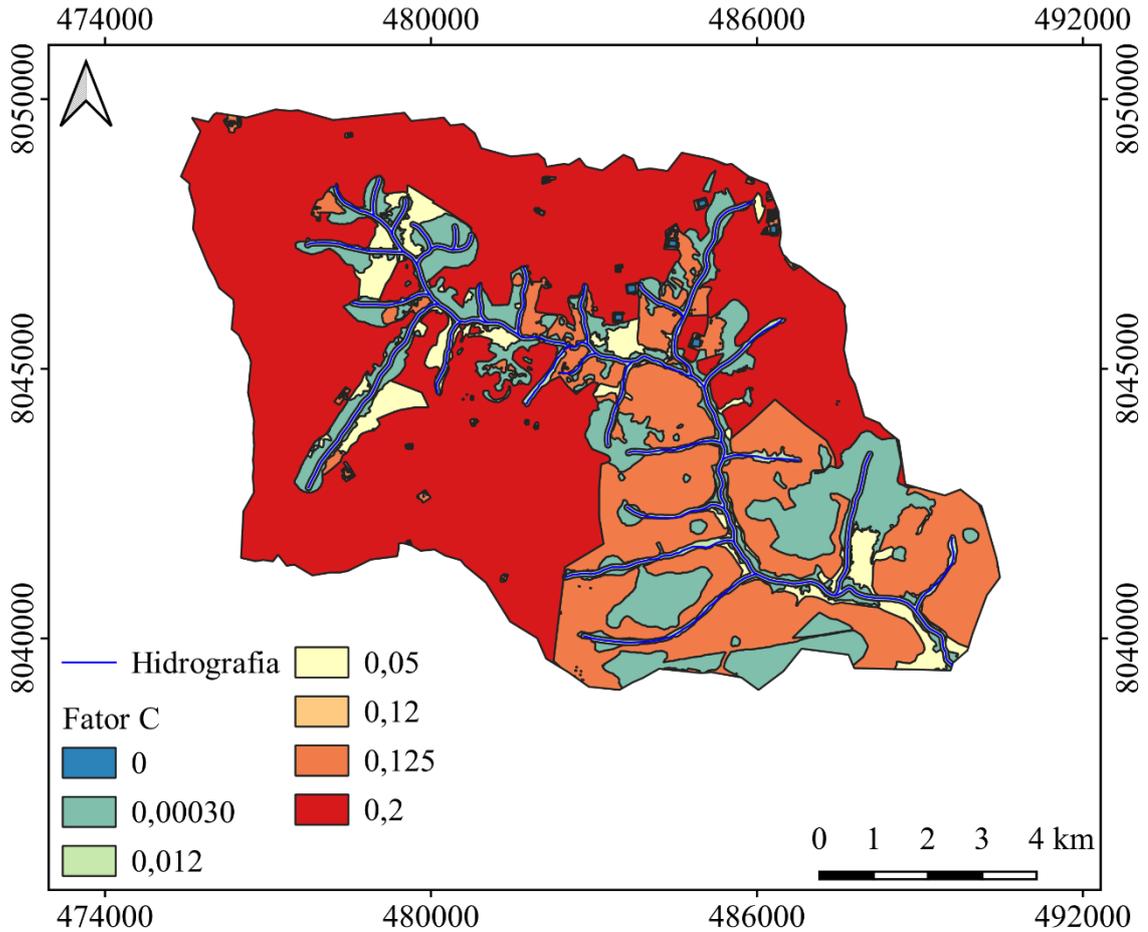
**Tabela 13.** Uso e cobertura da terra nas categorias de erosão potencial para o período seco na bacia hidrográfica do Rio Formoso, Goiás – Brasil.

Uso e cobertura da terra (km <sup>2</sup> )	Classe de erosão potencial (km <sup>2</sup> )					Total
	(Fraca)	(Moderada)	(Média)	(Forte)	(Muito forte)	
pastagem	534,1	23,1	206,2	235,6	1358,4	2357,5
Agricultura	2432,2	109,0	725,4	665,3	1896,4	5828,2
Campo sujo	190,6	22,3	71,5	35,3	147,5	467,2
Cerradão	378,7	28,9	137,4	120,3	861,4	1526,7
Construção	6,5	0,3	2,3	2,4	6,3	17,8
Eucalipto	4,4	0,2	1,5	1,7	5,5	13,2
Mata Ciliar	274,7	30,0	92,1	34,7	140,0	571,5
Total Geral	3821,3	213,8	1236,4	1095,3	4415,4	10782,1

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A classe Muito forte é predominante para a erosão potencial (EP) anual (aproximadamente 69%), período chuvoso (aproximadamente 69%) e período seco (aproximadamente 41%), para o último o valor é um pouco menor, mas ainda há predomínio dessa classe. Para EP anual (aproximadamente 52%) e para o período chuvoso (aproximadamente 52%) a agricultura e a pastagem somadas representam mais da metade das áreas que foram classificadas como EP Muito forte, para o período seco o valor é um pouco menor, cerca de 30%.

Na Figura 12 e Tabela 14 são apresentados os resultados de espacialização do fator C e quantificação da área de do uso e do fator C.



**Figura 12.** Mapa do fator de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.

**Tabela 14.** Uso e cobertura da terra, manejo e práticas conservacionistas do solo (CP) da bacia hidrográfica do Córrego Indaiá, Goiás

Categoria	Área em ha	Área em %	CP
Pastagem	2358,0	21,9	0,125
Cerradão	1526,9	14,2	0,0003
Mata ciliar	571,5	5,3	0,012
Campo_sujo	467,2	4,3	0,05
Eucalipto	13,2	0,1	0,12
Construção	17,8	0,2	0
Agricultura	5827,5	54,0	0,2
Total	10782,10	100,00	-

Fonte: Elaborado pela autora (2022) com o auxílio dos trabalhos já citados.

Os valores relacionados ao uso e cobertura do solo (fator CP) variaram de 0 a 0,2, sendo que os menores são relacionados a categoria que menos expõem (CP baixo) os solos aos

processos erosivos (construção), e os maiores, às classes que mais deixam os solos expostos à erosão hídrica (agricultura e pastagem, que somados correspondem a 75,9% da área).

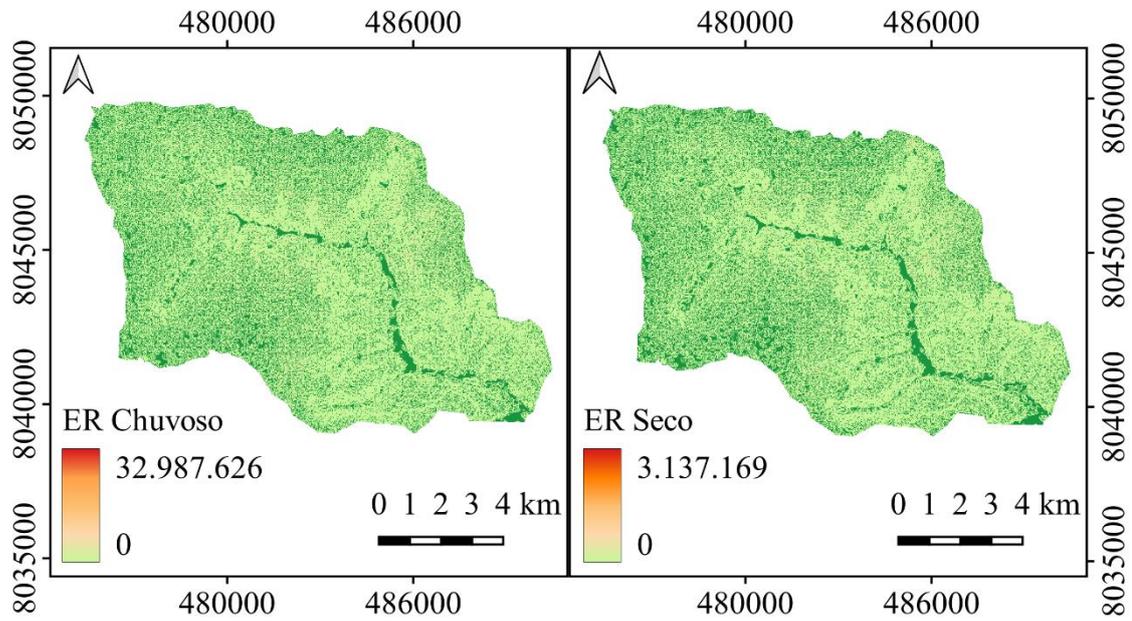
Barros et al. (2018), estudando a bacia hidrográfica do rio Lontra (TO), identificaram, assim como no presente estudo, grande parte da bacia com usos antrópicos, para eles, em razão do uso intensivo de grande parte de sua área (58,5%) pela pecuária, a bacia torna-se mais favorável a erosão, com pontos críticos empalhados ao longo de toda sua dimensão.

No estudo feito por Lima, Ferreira e Ferreira (2018), os autores concluíram que a alteração de uso e cobertura da terra caracteriza um relevante fator na perda do solo, em que, diferentes usos apresentam diferentes capacidades de intensificação do potencial erosivo, nesse estudo, a substituição da vegetação remanescente por pastagem ou agricultura retrata um acréscimo de perda do solo média de 51% e 110%, respectivamente para os usos.

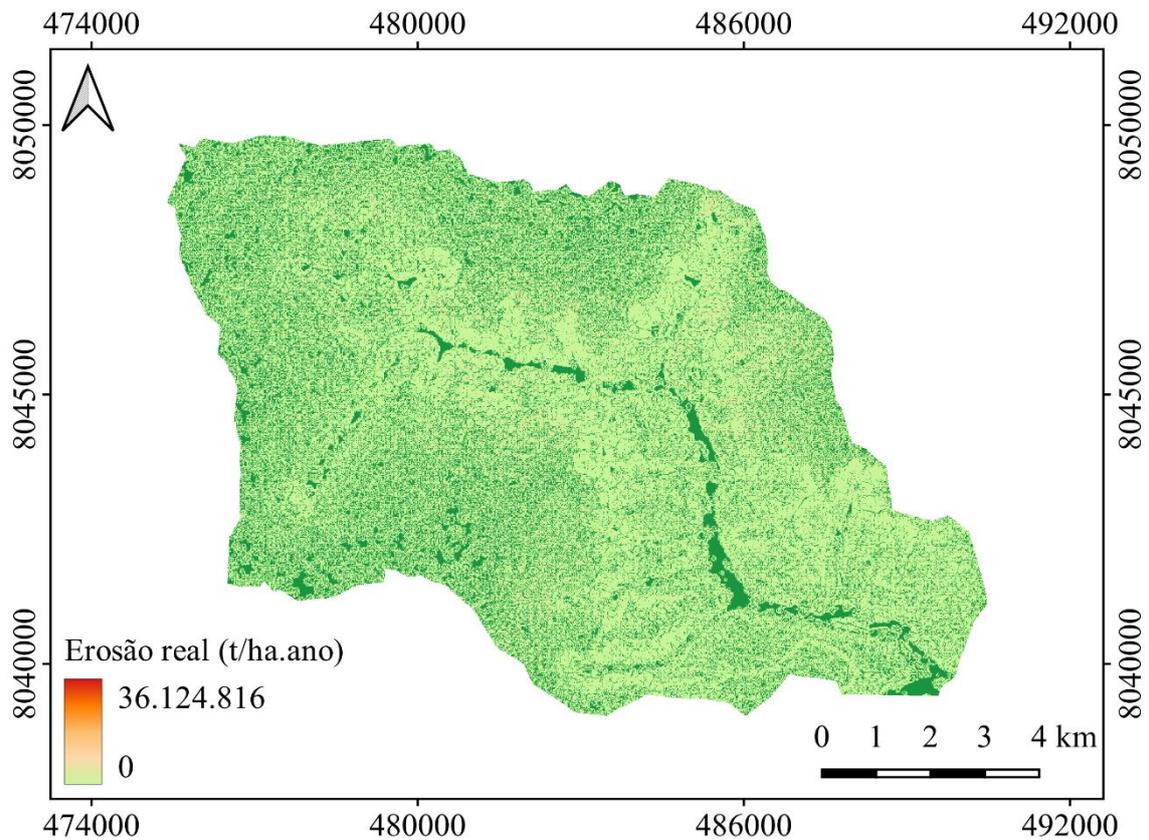
#### **4.7 Erosão Real**

Nas Figuras 13 e 14 são apresentados os resultados geoespacializados de erosão real para os períodos chuvoso e seco, e erosão real anual, na Tabela 15 a porcentagem de área para classe segundo a proposta de Beskow *et al.* (2009).

A taxa de perda de solo variou de 0 a 32.987.626 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, com média de 228.502,5, para o período chuvoso e de 0 a 3.137.169 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o período seco, com média de 21.655,9. A erosão anual o valor ficou de 0 a 36.124.816 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, com média de 250.161,1 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.



**Figura 13.** Mapa da erosão real para os períodos chuvoso e seco da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.



**Figura 14.** Mapa da erosão real anual da Bacia Hidrográfica do córrego Indaiá. Fonte: Elaborado pela autora (2022) na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e Zona 22S.

**Tabela 15.** Erosão hídrica potencial anual e para os períodos chuvoso e seco na Bacia hidrográfica do Córrego Indaiá, Rio Verde, Goiás

Perda de solo (t.mm.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Classes de interpretação	ER anual		ER chuvoso		ER seco	
		ha	%	ha	%	ha	%
0 - 2,5	(Ligeira)	2788,8	25,9	2790,2	25,9	2830,0	26,2
2,5 - 5	(Ligeira - moderada)	7,9	0,1	7,8	0,1	10,1	0,1
5 - 10	(Moderada)	8,1	0,1	8,1	0,1	15,1	0,1
10 - 15	(Moderada - alta)	5,0	0,0	5,0	0,0	10,7	0,1
15 - 25	(Alta)	6,5	0,1	6,5	0,1	16,8	0,2
25 - 100	(Muito alta)	25,5	0,2	26,4	0,2	68,8	0,6
>100	(Extremamente alta)	7940,3	73,6	7938,0	73,6	7830,6	72,6

Fonte: Elaborado pela autora com base em Beskow *et al.* (2009). ER: erosão real.

A erosão real para ambos os períodos analisados e para o ano correspondeu a mais de 70% da área para classe Extremamente alta. Um ponto importante é a divisão da erosão por período, na qual, o chuvoso representou aproximadamente 91,36% da erosão anual.

As áreas com maior índice de perda foram encontradas em associações de altos valores do fator topográfico (LS), Cambissolo, Argissolo, Latossolo Vermelho Distrófico com textura média e de usos de agricultura e pastagem. O fato de os maiores valores de erosão coincidirem com locais próximos aos corpos hídricos causa preocupação, uma vez que, se não existir um manejo apropriado do solo, o mesmo pode ser carregadas até os corpos hídricos, causando problemas como, aumento da turbidez, eutrofização, contaminação das águas com agrotóxicos.

Em um estudo realizado por Nunes (2020) sobre a perda de solos na BH do Ribeirão das Abóboras e BH do Ribeirão da Laje, também localizadas no estado de Goiás, próximo a BH do córrego Indaiá, a perda de solo variou de 0 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> a 732,76 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 0 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> a 574,37 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Dentre os usos presentes nas duas bacias, os que estiveram relacionados com a maior perda de solo foram solo exposto, agricultura, eucalipto e pastagem, resultado semelhantes aos obtidos na bacia do presente estudo.

Pilatti (2022) estudando a bacia hidrográfica do rio Montividiu (GO), próxima a do córrego Indaiá, encontrou características semelhantes para áreas com maiores valores de erosão, observados em locais adjacentes aos corpos hídricos e com relação aos elevados valores topográficos e a erodibilidade.

## 5 CONCLUSÃO

Para erosão potencial anual (aproximadamente 52%) e para o período chuvoso (aproximadamente 52%) a agricultura e a pastagem somadas representam mais da metade das áreas que foram classificadas como EP Muito forte, para o período seco o valor é um pouco menor, cerca de 30%.

Os maiores resultados de erosão real estão relacionados as áreas com a presença de altos valores do fator topográfico (LS), aos solos Cambissolo, Argissolo, Latossolo Vermelho Distrófico com textura média e de usos de agricultura e pastagem, na maioria dos casos, próximos os corpos hídricos. Pela proximidade entre o córrego Indaiá e o futuro ponto de captação de água de Rio verde, medidas de manejo e práticas conservacionistas devem ser aplicadas, para que o corpo de água não seja impactado negativamente e por consequência os habitantes rio-verdenses.

O período chuvoso representou 91,36% da erosão real anual, resultado que reflete a influência das chuvas no processo de perda do solo.

Este estudo poderá ser utilizado como base para o planejamento e a gestão ambiental dessa importante fonte de água.

## 6 REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas - ANA (HidroWeb). Série histórica de precipitação pluviométrica, 2020 Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Acesso em: 10 set. 2020.

ALEWELL, Christine et al. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International soil and water conservation research**, v. 7, n. 3, p. 203-225, 2019.

ALVES, W. S. **Geotecnologias aplicadas em estudos hidrogeográficos na bacia do Rio Verdinho – Sudoeste de Goiás – Brasil**. 2019. 212 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10259>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

ALVES, Wellmo Santos et al. Geotechnologies applied in the analysis of land use and land cover (LULC) transition in a hydrographic basin in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 22, p. 100495, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100495>. Acesso em: 09 mai. 2022.

BALDASSARINI, Jéssica de Sousa; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. Estimação da perda de solo por processos erosivos em parcelas de monitoramento utilizando pinos de erosão em propriedades rurais do interior do Estado de São Paulo. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, n. 38, 2018.

BARBOSA, A. F. et al. Aplicação da equação universal de perda do solo (USLE) em softwares livres e gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 170-179, 2015.

BARCELOS, Anna Carolina; MARUSCHI, Vinícius Oliveira. Monitoramento de erosão hídrica em ambiente de Cerrado, Uberlândia-MG. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Campinas (SP), v. 1, p. 6124-6135, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2502>. Acesso em: 15 jun. 2022.

BARROS, Enicléia Nunes de Sousa et al. Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2018. Acesso: 29 jun. 2022.

BESKOW et al. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 49-59, out. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>. Acesso em: 31 maio 2019.

BERTONI, J.; LOMBARD NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 4º Ed. 1999.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone Editora Ltda, 2014.

BEZAK, Nejc et al. Soil erosion modelling: A bibliometric analysis. **Environmental research**, v. 197, p. 111087, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111087>. Acesso em: 04 mai. 2022.

CARDOSO, M.R.D., MARCUZZO, F.F.N., BARROS, J.R., Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, v. 8, pag. 40–55. 2014, Disponível em: <https://doi.org/10.5654/acta.v8i16.1384>. Acesso em: 01 mai. 2022.

CARVALHO N. O. Hidrossedimentologia prática. 2. ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

COUTO JÚNIOR, Antonio Aparecido et al. Land use changes associated with the expansion of sugar cane crops and their influences on soil removal in a tropical watershed in São Paulo State (Brazil). **Catena**, v. 172, p. 313-323, 2019.

DEMARCHI, Julio Cesar; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

DUARTE, Miqueias Lima et al. DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO POR MEIO DE DOIS MÉTODOS INDIRETOS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – *Embrapa*. *Espaço Temático: Geotecnologia*. 2022a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-geotecnologias/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 20 jun. 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agricultura conservacionista: conheça os preceitos e práticas para o Cerrado**. 2022c Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/48440960/agricultura-conservacionista-conheca-os-preceitos-e-praticas-para-o-cerrado>. Acesso em: 23 jun. 2022.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – *Embrapa*. Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos): O PronaSolos e seus objetivos. 2022b Disponível em: < <https://www.embrapa.br/pronasolos/sobre-o-programa>> Acesso em: 22 jun. 2022.

FARAH, Abdelouhed et al. Mapping of soil degradation in semi-arid environments in the Ouarzazate basin in the south of the Central High Atlas, Morocco, using Sentinel 2 A data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, p. 100548, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100548>. Acesso em: 06 jul. 2022.

FARINASSO, Miguel et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS-Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - Ano 7, nº 2, 2006.

FERREIRA, Átila da Silva. Determinação da erosividade da chuva com base em dados medidos no Distrito Federal. 2017. Trabalho de conclusão de curso (bacharel em Gestão Ambiental) – Universidade de Brasília (UnB), Planaltina, 2017. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/16532/1/2017\\_AtilaDaSilvaFerreira\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/16532/1/2017_AtilaDaSilvaFerreira_tcc.pdf). Acesso em: 06 ago. 2022.

FERREIRA, Bruno Martins et al. Geodiversidade no município de Paraúna/Goiás. 2016. 83 f. Dissertação (Mestre em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: < <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6932/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Bruno%20Martins%20Ferreira%20-%202016.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2021.

FLORENTIM, Elyson Thiago Souza et al. Espacialização da erosividade mensal e anual da chuva na bacia hidrográfica do Córrego Fundo, Aquidauana-MS. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e3110111173-e3110111173, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/11173>. Acesso em: 23 jul. 2022.

Helfer, F., Lopes, F., Risso, A., Beltrame, L., Merten, G. Estimativa de Perda de Solo por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá Usando Técnicas de Geoprocessamento, in: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH, Curitiba, 2003.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Noções cartográficas para base operacional geográfica** / IBGE. Rio de Janeiro: IBGE, 1985. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281663>. Acesso em: 05 mai. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/panorama>. Acesso em: 12 mai. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mapa de Solos do Brasil do IBGE escala 1:250.000, 2020. Disponível em: <https://geoportal.cprm.gov.br/portal/home/item.html?id=7bfcf0974489469cbf74db9f4b0d81d0>. Acesso em: 19 agos. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Câmeras Imageadoras CBERS 04<sup>a</sup>**. Disponível em: < <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbbers04a.php>>. 2021.

JULIAN, Carolina. Estimativa de erosão utilizando método direto e indireto em propriedade rural no distrito de Amadeu Amaral, município de Marília/SP. 2022. 115 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP - Campus de Presidente Prudente. Acesso em: 06 jul. 2022.

LIMA, G. S. A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E.. Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 4, p. 1510-1536, 2018. Acesso em: 30 jun. 2022.

LIMA, C. G. R. et al. Influência de atributos químicos na erodibilidade e tolerância de perda de solo na bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados. **Geociências (São Paulo)**, v. 35, n. 1, p. 63-76, 2016.

MACEDO, Fernando Cezar de. Transformação econômica, inserção externa e dinâmica territorial no Centro-Oeste brasileiro: o caso de Rio Verde. **Sociedade & Natureza**, v. 25, p. 35-50, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000100004>. Acesso em: 09 jun. 2022.

MANNINGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, v. 24, 2002.

MEINEN, Benjamin U.; ROBINSON, Derek T. From hillslopes to watersheds: Variability in model outcomes with the USLE. *Environmental Modelling & Software*, v. 146, p. 105229, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105229>. Acesso em 05 ago. 2022.

MENEZES, Paulo Márcio Leal; NETO, Ana Luiza Coelho. Escala: estudo de conceitos e aplicações. 1999. Disponível em: [http://www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/Escala\\_Conceitos\\_Aplic.pdf](http://www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/Escala_Conceitos_Aplic.pdf). Acesso em: 09 jun. 2022.

MIGUEL, Pablo et al. Mapeamento da erodibilidade e erosão potencial do solo em uma bacia hidrográfica de encosta. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 01-09, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190235>. Acesso em: 15 jun. 2022.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, PiauÍ-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 84-105, 2017. Acesso: 25 jun. 2022.

MOURA, Derick Martins Borges et al. Refinamento do mapa de solos do alto curso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Marta, Município de Iporá (GO), Brasil. **Caderno de Geografia**, v.30, n.62, 2020.

Nunes, N. da C. Análise espaço-temporal da erosão hídrica em bacias hidrográficas no Sudoeste de Goiás. Instituto Federal Goiano, Rio Verde. 2020. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade)- IF GOIANO, 2019.

OLIVEIRA, H. P. V. Tutorial para obtenção, correções e interpolação (opcional) do Modelo Digital de Elevação (sensor PALSAR) do Satélite ALOS-1 de 2006 a 2011. Recuperado de <https://pt.scribd.com/document/352325754/TutorialMDE-ALOS-1-Huascar-Vidal-v1>, 2017.

PELTON, J.; FRAZIER, E.; PICKILINGIS, E. Calculating slope length factor (LS) in the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). 2012.

PILATTI, Hevri da Silva Carneiro. INTELIGÊNCIA GEOESPACIAL APLICADA AO PLANEJAMENTO E À GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MONTIVIDIU, SUDOESTE GOIANO. 2022. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade)- IF GOIANO, 2022. Acesso em: 06 jul. 2022.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, 112(9), 3469-3481.

SAHOUR, Hossein et al. Machine learning applications for water-induced soil erosion modeling and mapping. **Soil and Tillage Research**, v. 211, p. 105032, 2021. Acesso em: 04 mai. 2022.

SANTOS, Gilsonley Lopes et al. Degradation of the Brazilian Cerrado: Interactions with human disturbance and environmental variables. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118875, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118875>. Acesso em: 01 jul. 2022.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa produção de informação, 2018.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Solos tropicais: Latossolos**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos>. Acesso em: 25 jun. 2022.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. P. C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Neossolos Litólicos**. 2021. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html). Acesso em: 23 jun. 2021.

SANTOS, Patrícia Pereira et al. Geotechnologies applied to analysis of the rural environmental cadastre, **Land Use Policy**, v. 101, p. 105127, ISSN 0264-8377, 2021b. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US202100120066>. Acesso em: 02. Jun. 2022.

Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). **Pronasolos**. 2020. Disponível em: <<https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>> Acesso em: 22 ago. 2021.

SILVA, Mayesse Aparecida da et al. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 160-172, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200007>. Acesso em: 20 jun. 2021.

Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás - SIEG, 2020. Downloads/SIG - Shapefiles. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás - SIEG, 2019. Downloads/SIG - Shapefiles. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás - SIEG, 2017. Downloads/SIG - Shapefiles. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 12 mai. 2017.

Sousa, D.M.G. de, Lobato, E. Latossolos. Agência Embrapa de Informação: **Bioma Cerrado**, 2022. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_96\\_10112005101956.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html). Acesso em: 19 jul. 2022.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: FERREIRA, M.E.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Solos altamente suscetíveis a erosão. Jaboticabal: FCAV. p. 223-242, 1994.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, D.C: USDA, 1978.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Cambissolos**, 2022. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_8\\_2212200611538.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_8_2212200611538.html). 22 jul. 2022a.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Argissolos**, 2022. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_7\\_2212200611538.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html) Acesso em: 22 jul. 2022b.