

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**MODELAGEM POR MEIO DE INTELIGÊNCIA
GEOESPACIAL PARA ESTIMAR A EROSÃO LAMINAR NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GRANDE (ESTADO
DE GOIÁS – BRASIL)**

Lucas Duarte Oliveira

**Rio Verde, GO
2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**MODELAGEM POR MEIO DE INTELIGÊNCIA GEOESPACIAL PARA
ESTIMAR A EROSÃO LAMINAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
CÓRREGO GRANDE (ESTADO DE GOIÁS – BRASIL)**

LUCAS DUARTE OLIVEIRA

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

Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini

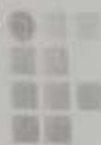
**Rio Verde, GO
Maio, 2022**

Duarte Oliveira, Lucas

Modelagem por meio de inteligência geoespacial para estimar a erosão laminar na Bacia hidrográfica do Córrego Grande (Estado de Goiás – Brasil)/
Lucas Duarte Oliveira. - Rio Verde. - 2022.
43f. : il.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal Goiano
– Campus Rio Verde, 2022.
Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini.

1. Ação antrópica. 2. Geotecnologias. 3. Impactos ambientais. 4. USLE. I. Peres Angelini, Lucas, 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: Lucas Duarte Oliveira

Matrícula: 2017102200740122

Título do Trabalho: Modelagem por meio de inteligência geoespacial para estimar a erosão laminar na Bacia hidrográfica do Córrego Grande (Estado de Goiás – Brasil)

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 19/05/22

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 inclusos 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, 17/05/2022.

Lucas Duarte Oliveira

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Lucas Peres Angelini

Assinatura do (a) orientador(a)
Lucas Peres Angelini

Coordenador do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental

Portaria nº 808/2019 | DOU 04/09/2019

SIAPE 1834473 | IF Goiano – Campus Rio Verde



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

Ata nº 11/2022 - CCGRAD-RV/GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

Ata nº 103/2021 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 09 de maio de 2022, às 15 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Lucas Peres Angelini (orientador), Wellington Donizete Guimarães (membro), Rafael Marques Pereira Leal (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “MODELAGEM POR MEIO DE INTELIGÊNCIA GEOESPACIAL PARA ESTIMAR A EROÇÃO LAMINAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GRANDE ESTADO DE GOIÁS - BRASIL” do estudante Lucas Duarte Oliveira, Matrícula nº 2017102200740122 do Curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao 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.

(Assinado Eletronicamente)

Lucas Peres Angelini (IF Goiano)

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Wellington Donizete Guimarães (IF Goiano)

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Rafael Marques Pereira Leal (IF Goiano)

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rafael Marques Pereira Leal**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/05/2022 17:12:13.
- **Wellington Donizete Guimaraes**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/05/2022 17:10:28.
- **Lucas Peres Angelini**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/05/2022 17:08:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/05/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 386877

Código de Autenticação: ff34586b31



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

RESUMO

OLIVEIRA, Lucas Duarte. **Modelagem por meio de inteligência geoespacial para estimar a erosão laminar na Bacia hidrográfica do Córrego Grande (Estado de Goiás – Brasil)**. 2022. 43p. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2022.

A erosão hídrica pode causar impactos ambientais negativos, afetando as atividades antrópicas e a conservação ambiental de uma área de interesse. Com isso, o objetivo desse estudo foi mapear e analisar a potencialidade e a perda de solos sazonal (período seco e chuvoso) e anual na bacia hidrográfica (BH) do Córrego Grande, localizada no município de Rio Verde, Goiás. A análise da perda de solos foi realizada por meio do modelo hidrológico *Universal Soil Loss Equation* (USLE), considerando fatores naturais: índice de erosividade da chuva (fator R), índice de erodibilidade do solo (fator K), comprimento da rampa (L) e declividade (S) (fator LS); e fatores biótico e antrópico: uso, cobertura e manejo da terra (fator C) e práticas conservacionistas do solo (fator P). Foram calculadas a erosão potencial (fatores físicos naturais) e erosão real (considerando os fatores físicos naturais e antrópico) para o ano de 2021. Os produtos gerados foram analisados e interpretados considerando valores de referência observados na literatura. Cerca de 62,95% da erosão potencial (EP) da BH é classificada como baixa e 53,47% da erosão real (ER) é ligeira. Entretanto, foram registrados locais com elevados valores de EP e ER, principalmente nos períodos com alta precipitação, ambientes com elevados valores de erodibilidade e nos locais com presença de atividades antrópicas, como a agricultura e a pastagem. Com isso, sugere-se a adoção de medidas conservacionistas integradas com a gestão ambiental a fim de minimizar os impactos presentes na BH, visto a forte influência antrópica que a BH está submetida.

Palavras-chave: Ação Antrópica, Geotecnologias, Impactos Ambientais, USLE

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

Sigla	Significado
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
3 MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 Localização e caracterização da área de estudo	11
3.2 Elaboração do mapa de perda de solos por erosão hídrica.....	13
3.2.1 Fator de erosividade da chuva (R)	14
3.2.2 Fator de erodibilidade do solo (K)	15
3.2.3 Fator topográfico (LS).....	17
3.2.4 Fator de manejo e Cobertura (C) e Práticas conservacionistas de suporte (P) .	17
3.3 Integração dos fatores.....	18
3.4 Classificação e interpretação dos resultados.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5 CONCLUSÃO	36
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, o Sudoeste goiano destaca-se como modelo da modernização agropecuária implantada no Brasil. A microrregião tem apresentado índices expressivos de produção agropecuária nos últimos tempos, e dentre os principais produtos destacam-se a soja, milho, cana-de-açúcar, aves, bovinos e suínos. Além disso, possui diversas empresas instaladas, principalmente agroindústrias (ALVES; MARTINS; SCOPEL, 2018). Nesta região, está localizado o município de Rio Verde, considerado a quarta economia do estado de Goiás e o principal município da microrregião do Sudoeste Goiano. A população rio-verdense é a quarta maior do estado, sendo estimada em 247.259 pessoas (IBGE, 2021), resultando em uma forte pressão ambiental nas bacias hidrográficas da região.

A Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 define a bacia hidrográfica (BH) como unidade territorial para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos. A BH pode ser definida como uma unidade para a gestão do meio, onde podem ser encontradas transformações causadas espontaneamente ou por interferência antrópica (BRASIL, 1997). Para sua gestão, técnicas de geoprocessamento são de suma importância na análise de questões relacionadas à dinâmica ambiental local.

O geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados para a geração de novos dados, informações espaciais e georreferenciadas (ZAIDAN et al., 2017), sendo que cada aplicação de geoprocessamento é executada em um determinado sistema, que recebe o nome de Sistema de Informações Geográficas (SIG) (SILVA, 2006). Os SIG foram idealizados e desenvolvidos como uma tecnologia voltada para a gestão da informação que faz uso de entidades distribuídas geograficamente em grandes extensões territoriais, podendo ser caracterizados como ferramentas capazes de tratar a informação em todo o seu ciclo de vida, sendo fundamentais na gestão ambiental e no manejo dos recursos naturais (MACEDO et al., 2018; FITZ, 2020; AMARAL et al., 2021). Destaca-se também a importância da elaboração de produtos cartográficos compatíveis com a realidade local, principalmente no relacionado à escala.

As escalas podem ser divididas em pequena, média e grande. Um mapa de pequena escala (1:500.000 – 1:5.000.000) mostra menor detalhe; o mapa de média escala (1:25.000 – 1:250.000) apresenta relativa precisão; e por fim, o mapa de grande escala (1:5000 – 1:20.000)

permite a representação de levantamentos em detalhe (IBGE, 1985). O refinamento dos dados de uma área de estudo, de acordo com Moura et al., (2020), é de grande importância para um melhor detalhamento das informações, permitindo assim, uma maior visualização e detalhes e um modelo cartográfico mais condizente com o local.

O uso dos recursos naturais é inevitável devido à necessidade de desenvolvimento da sociedade, sendo necessário um modelo de apropriação do espaço geográfico (SILVA; SANTOS, 2016). O estudo geossistêmico da paisagem, que leva em consideração fatores naturais, sociais e econômicos do ambiente (SOTCHAVA; 1977) é de suma importância, pois fornece informações ao planejamento e à gestão ambiental de unidades territoriais (ALVES; MARTINS; SCOPEL, 2018). Para isso, o avanço da tecnologia na área de geoprocessamento nos ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Modelos Digitais de Elevação (MDE) tem auxiliado na execução de estudos relacionados a análise ambiental de uma área de interesse (ALVES et al., 2016), como os de análise da perda de solos.

A *Universal Soil Loss Equation* (USLE) de Wischmeier e Smith (1978) é um modelo empírico que estima a perda de solo ocasionada pela erosão laminar (SILVA et al., 2017), considerando os fatores ambientais e antrópicos (BARBOSA et al., 2015), sendo uma das equações mais utilizadas para modelar a erosão do solo, mesmo em larga escala (KRUK et al., 2020). Os fatores que integram esse modelo são: erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento da rampa (L) e declividade (S) (fator LS), cobertura da terra e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas do solo (fator P). A perda de solos é o produto resultante desses fatores, podendo ser mensal e anual.

Em relação aos fatores físicos, o fator R avalia o impacto da precipitação na forma de energia cinética, prevendo a taxa e quantidade de escoamento relacionada com esse evento (PANAGOS et al. 2015; GHOSAL; DAS BHATTACHARYA, 2020). O Fator K é caracterizado pela susceptibilidade do solo aos processos erosivos, dependendo de sua textura, classe, permeabilidade, estrutura e quantidade de matéria orgânica, sendo que diferentes tipos de solos são naturalmente mais resistentes ou susceptíveis a erosão do que outros (RODRIGUES et al. 2017; CASSOL et al., 2018; SCARPINELLA et al., 2019). Tratando-se de aspectos topográficos, o Fator LS é a expressão das relações do relevo no processo de perda de solos, definido pelo comprimento da encosta e pela sua inclinação (KARAN; GROSH; SAMADDER, 2019; SILVA et al., 2020).

Quando apresentada em cartografia, a erosão potencial (EP), que corresponde a multiplicação dos fatores R, K e LS, permite uma maior interpretação do risco de erosão em uma BH por meio das características do meio físico. Com isso, sua estimativa pode subsidiar o ordenamento do uso e ocupação de áreas mais propensas aos processos erosivos, minimizando possíveis desastres como as enchentes e deslizamentos de terra, além de auxiliar no desenvolvimento de projetos relacionados à infraestrutura (DURÃES; MELLO, 2016).

Os fatores C e P são relacionados à cobertura da terra (meio biótico) e ações antrópicas, sendo que o fator C representa o grau de proteção contra os impactos dos processos erosivos em decorrência do tipo de cobertura do solo e técnicas de manejo existentes. O fator P está relacionado à intensidade da perda de solo resultante da utilização de práticas conservacionistas de caráter mecânico (COUTINHO et al., 2014; SCARPINELLA et al., 2019; TOLENTINO et al., 2020). A erosão real (ER) é o resultado da integração da EP e os fatores C e fator P, permitindo compreender a influência das atividades antropogênicas nos processos erosivos, visto que o uso e cobertura da terra de forma inadequada, sem considerar modernas técnicas de conservação do solo, podem ocasionar impactos negativos locais, afetando a conservação e qualidade ambiental do meio.

Devido a importância de analisar a influência dos aspectos físicos naturais, bióticos e antrópicos nos processos erosivos, a importância da referida área de estudo para as atividades antrópicas e conservação ambiental local e a pressão antrópica a que ela está submetida, o objetivo geral desse estudo foi estimar a perda de solos na bacia hidrográfica do Córrego Grande, no município de Rio Verde, estado de Goiás – Brasil, considerando análises sazonal (com base precipitação local) e anual, por meio da USLE e geotecnologias. Os objetivos específicos foram: entender a potencialidade à erosão laminar a partir da integração dos fatores R, K e LS e compreender a influência das ações antrópicas na ER de forma geoespacializada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os processos erosivos têm sido assunto de grande preocupação, atentando sobre os recorrentes estudos acerca de toneladas de perdas de solos agricultáveis durante o ano e demonstrando as inúmeras formas erosivas, que em alguns locais acabaram se tornando corriqueiras. As perdas são significativas e muitas das vezes, as consequências são irreparáveis,

sendo que práticas conservacionistas de manejo adequadas seriam fundamentais para evitar a improdutividade futura de solos (SILVA; LUCHIARI, 2016).

Dentre as ferramentas utilizadas na atualidade para a compreensão dos organismos terrestres e das ações do homem sobre o mesmo, destaca-se o sensoriamento remoto e o geoprocessamento (FERNANDES; MOREIRA; NERY, 2014). Segundo Pereira et al. (2019), as geotecnologias se caracterizam como ferramentas que auxiliam no diagnóstico, no monitoramento e na avaliação dos impactos causados ao meio ambiente, com destaque para o geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográficas (SIG).

Entre as geotecnologias presentes que se destacam no mercado para manipulação de dados espaciais, está o software QGIS. É um software gratuito, licenciado pela GNU (*General Public License*), baseado em um SIG (Sistema de Informação Geográfica). O programa oferta várias ferramentas que possibilitam a visualização, o gerenciamento, a edição, a análise de dados e uma lista de recursos mais detalhada, além de possuir uma interface de fácil manuseio (TORCHETTO et al., 2014).

A USLE é considerada uma importante ferramenta para a estimativa da perda de solos por meio das geotecnologias, sendo sua facilidade de aplicação e geração de resultados representativos da área de estudo uma de suas principais características (SUJATHA; SRIDHAR, 2019; MOHAMMED et al., 2020). Esse modelo é largamente utilizado pelo fato de considerar o clima, a topografia, o solo e as práticas de manejo do ambiente (FU et al., 2021), sendo essas características representadas pelo fator R, fator K, fator LS (fatores físicos); e fator C e fator P (fatores antrópicos). A erosão potencial é calculada a partir dos fatores físicos; já para a erosão real, os fatores antrópicos são considerados.

Costa et al., (2016) tiveram como objetivo estimar as perdas de solo nos anos de 1984 e 2011, na BH do Córrego Rico (BHCR), utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e propor alternativas que possam mitigar a degradação nesta área. Uma das conclusões dos autores foi de que o uso integrado EUPS e SIG mostrou ser uma técnica eficaz na representação espacial das perdas de solo na BH em questão.

Já Lima, Clementino Ferreira e Eduardo Ferreira (2018) objetivaram determinar a susceptibilidade erosiva para o atual uso da terra e também para diferentes cenários de ocupação antrópica considerando toda a área da região metropolitana de Goiânia, visando prognosticar o quanto a conversão deste ativo ambiental pode colaborar para a ocorrência de erosão, e em quais intensidades. Foi considerada toda a área da região metropolitana de Goiânia, onde foram

simulados os seguintes cenários: Atual (todas as classes de uso), Pastagem e Agricultura. Os autores verificaram que a susceptibilidade erosiva para Pastagem aumentou em 51%, e em 110% para Agricultura, em comparação com o cenário verificado.

Durães e Mello (2016) objetivaram avaliar a distribuição espacial do potencial natural e atual do solo à erosão hídrica na Bacia do Rio Sapucaí, localizada no sul de Minas Gerais, através da USLE revisada, por meio de modelagem cartográfica, para a obtenção da erosão potencial (EP) e da erosão atual (EA). Os resultados obtidos indicaram que a EP para a Bacia do Rio Sapucaí variou de “Muito forte”, na sua região de cabeceira a “Fraca”, nas áreas com topografia mais suavizada e menor erosividade da chuva. Já em relação à EA, mais de 55,17 % da Bacia do Rio Sapucaí apresenta perdas de solo abaixo de $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, significando baixo potencial atual de erosão.

Morais e Salles (2017) apresentaram uma estimativa do Potencial Natural de Erosão (PNE) dos solos da bacia hidrográfica do alto Gurguéia (BHAG), Piauí, calculado por meio do produto dos parâmetros físicos da USLE. Os resultados indicam que a BHAG apresenta baixo potencial natural de erosão, apresentando PNE de $\leq 400 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Entretanto, nas áreas declivosas associadas às escarpas das bordas dos planaltos, chapadas e superfícies residuais, esses valores ultrapassam $1.600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (6,4% da área total).

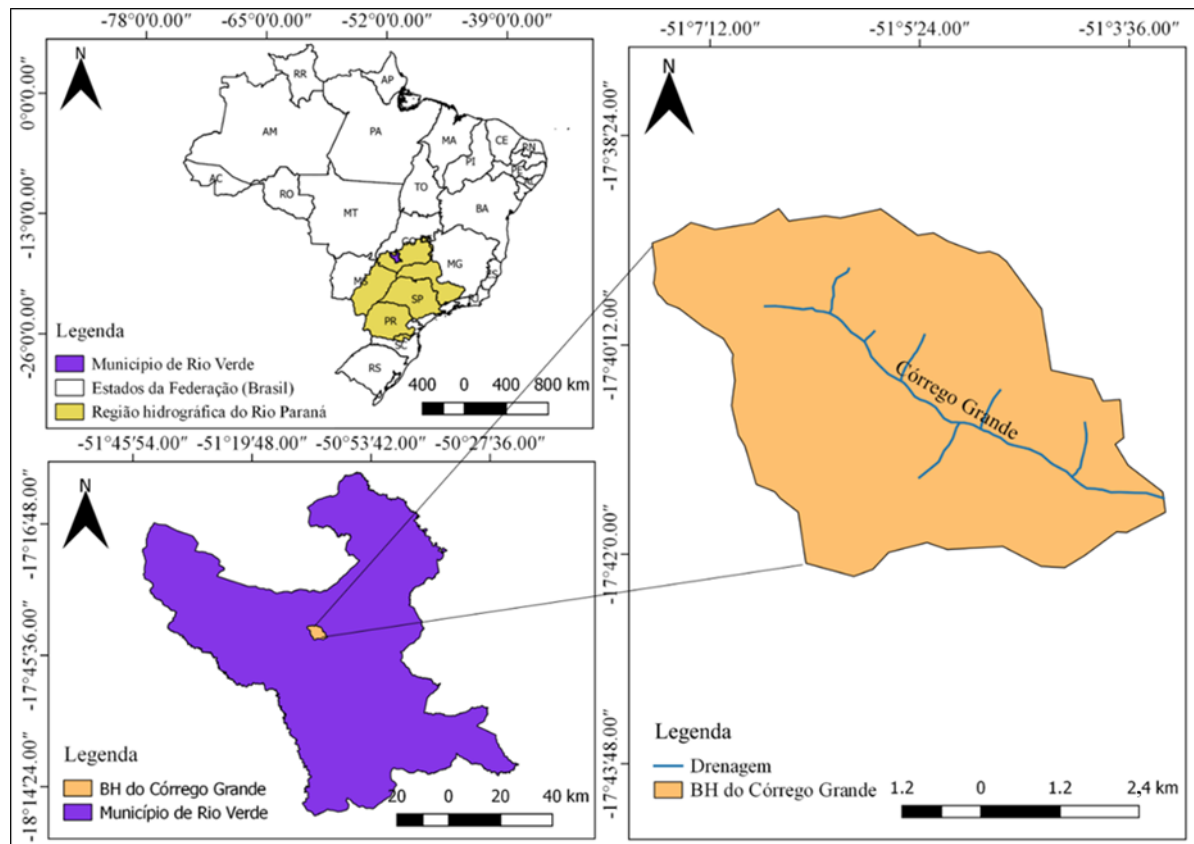
Sendo assim, percebe-se a importância de um estudo holístico que envolva os fatores físicos e fatores antrópicos de um ambiente por meio da USLE, pois os resultados dessas análises podem ser utilizados para subsidiar o planejamento e gestão ambiental de uma determinada área de interesse, visto que as atividades antrópicas podem afetar diretamente na qualidade e quantidade dos recursos hídricos locais, no solo, na biodiversidade etc., necessitando assim, de um manejo ambiental correto a fim de conciliar o meio ambiente com as atividades produtivas locais, identificando assim, as limitações e potenciais do ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A Bacia hidrográfica do Córrego Grande está localizada no município de Rio Verde, estado de Goiás – Brasil, totalizando 2831,96 (ha) (Figura 1), especificamente na bacia hidrográfica do Rio Verdinho, afluente do Rio Verde, um dos principais cursos hídricos da região hidrográfica do Rio Paraná (uma das doze regiões hidrográficas do território brasileiro).

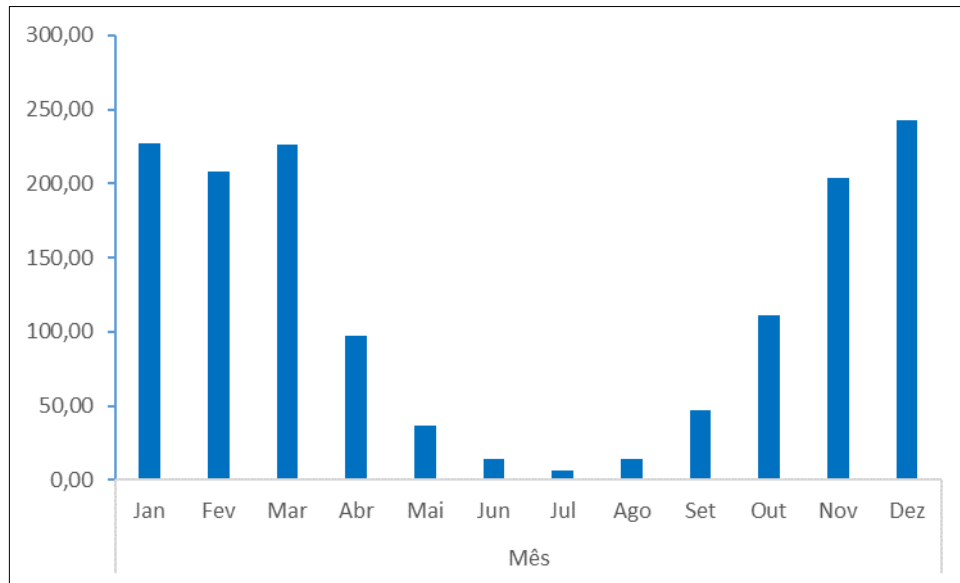
Figura 1. Mapa de localização da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, município de Rio Verde – GO, Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados geográficas disponibilizadas pelo SIEG (2021), no Sistema de Coordenadas Geográficas - Sirgas 2000.

Os meses de maior precipitação são novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, e os de menor, são maio, junho, julho, agosto e setembro (Figura 2). De acordo com Cardoso et al. (2014), a classificação climática no estado de Goiás, considerando os elementos precipitação pluviométrica e a temperatura do ar, de acordo com a metodologia proposta por Köppen-Geiger em 1900 e adaptada por José Setzer em 1966, é classificada no tipo AW-Clima tropical com estação seca no inverno e chuvosa no verão.

Figura 2. Precipitação mensal média (mm) para a área de estudo, no período de 1986 a 2019.



Fonte: elaborado pelo autor (2022 a partir da média dos dados disponibilizados pela Estação Benjamim Barros (01751002), Estação Fazenda Paraíso (01750008), Estação Montividiu (01751004) e Estação Maurilândia (1850003)

3.2 Elaboração do mapa de perda de solos por erosão hídrica

Para a construção do mapa de erosão hídrica laminar, foi utilizada a metodologia proposta por Wischmeier e Smith (1978), cujo cálculo da perda de solo por erosão é realizado por meio da *Universal Soil Loss Equation (USLE)*. Este modelo matemático permite estimar a perda de solo média anual em diferentes condições climáticas, tipos de solos, aspectos do relevo, uso, cobertura e manejo do solo e utilização de práticas conservacionistas, de modo a determinar áreas que apresentam maiores ou menores perdas de solos. A USLE é expressa pela Equação (1):

$$Am = Rm \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Na qual: A_m é a perda de solo por unidade de área no tempo ($t \cdot ha^{-1} \cdot (mês)^{-1}$); R_m , o fator erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot mês^{-1}$); K , o fator de erodibilidade do solo ($tn \cdot ha \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$); LS , o fator topográfico englobando a declividade e comprimento de rampa (adimensional); C , o fator de uso e manejo do solo (adimensional); P , o fator de prática conservacionista do solo (adimensional). Para o cálculo da EP e ER do período seco e do

período chuvoso, foram considerados os meses mais secos e chuvosos, respectivamente. Já para o cálculo da anual, foi considerada a soma dos doze meses.

3.2.1 Fator de erosividade da chuva (R)

Os dados de precipitação foram obtidos de estações pluviométricas do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA, 2021), sendo elas: a Estação Benjamim Barros (01751002), Estação Fazenda Paraíso (01750008), Estação Montividiu (01751004) e Estação Maurilândia (1850003), constituindo-se um conjunto de dados de precipitação pluviométrica com duração mínima de 30 anos, localizadas o mais próximo possível da área de estudo. Esses dados foram compilados em planilha eletrônica e calculadas as médias mensais para aplicação da fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2014) de modo a determinar a erosividade da chuva (R) com base nas médias mensais do Índice de Erosão (EI), ver Equação (2). Conforme destaca Bertoni e Lombardi Neto (2014), esta equação estima o fator de erosividade para períodos longos de vinte ou mais anos.

$$R_m = 67,366 \left[\frac{r_i^2}{P} \right]^{0,85} \quad (2)$$

Na qual R_m é o fator de erosividade da chuva mensal ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$); r , a precipitação média mensal (mm); P , a precipitação média anual (mm). Para a erosividade do período seco e do período chuvoso, foram considerados os meses mais secos e chuvosos, respectivamente. A erosividade anual foi obtida a partir da soma dos doze meses do ano (QGIS, 2020).

Os valores de R serão foram geocodificados no software QGIS versão 3.10.11[®] para gerar uma malha por meio do interpolador *Spline* (QGIS, 2020), considerando a erosividade para cada mês do ano. O método *Spline* de interpolação estima valores desconhecidos dobrando a superfície através de valores conhecidos (UFES, 2021). Os produtos gerados foram na escala de 1:60.000, de acordo com o método de precisão gráfica do Manual técnico de cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) (IBGE, 1999)

Os valores de erosividade de cada período (seco e chuvoso) foram analisados separadamente, buscando relacionar as influências temporais nos processos de erosão laminar. Em relação aos valores de erosividade anual, serão comparados com a classificação de Carvalho (2008).

Tabela 1. Classes de erosividade da chuva (média anual)

Classes de erosividade	Erosividade em MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹
Baixa	R < 2.452
Média	2.452 < R < 4.905
Média forte	4.905 < R < 7.357
Forte	7.357 < R < 9.810
Muito forte	R > 9.810

Fonte: Carvalho (2008)

A erosividade mensal varia de R < 2452 (baixa) a R > 9810 (muito forte) MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.mês⁻¹ (Tabela 1), proporcionando a geoespacialização das áreas mais propícias aos processos erosivos.

3.2.2 Fator de erodibilidade do solo (K)

Primeiramente, o Modelo Digital de Elevação (MDE), correspondente à cobertura da área de estudo, obtido pelo Satélite ALOS e sensor PALSAR, foi corrigido e refinado de acordo com o método proposto por Oliveira (2017), obtendo um produto cartográfico com escala de 1:30.000 (6 m de resolução espacial), de acordo com o método de precisão gráfica do Manual técnico de cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) (IBGE, 1999). Depois, foram consideradas as informações do mapa geológico e mapa de solos para o refinamento, sendo das seguintes bases de dados:

- a) O Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal, na escala 1:500.000, formato shapefile (shp), gerado em 13 de abril de 2009, pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC), disponibilizado SIEG (SIEG, 2021);
- b) Mapa de Solos disponibilizado na plataforma PronaSolos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, gerado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na escala 1:250.000 no dia 14 outubro de 2020 (CPRM, 2020), elaborado por Polidoro et al., (2016);

O mapa de solos foi refinado conforme Moura et al. (2020), que considera a análise, sobreposição e correlação dos dados de geologia, pedologia e declividade da área juntamente com o modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND). Este modelo possibilita fazer uma simulação das áreas mais susceptíveis à inundação, considerando a diferença da altitude extraída do MDE e a rede de drenagem de referência para o cálculo das alturas relativas, pois

por meio da rede de drenagem extraída do dado topográfico, a diferença entre cada elemento da grade MDE e o ponto mais próximo associado à rede de drenagem extraída dá origem ao modelo de superfície HAND. Com isso, o nível de referência deixa de ser fixo em relação ao mar e passa a ser relativo à rede de drenagem mais próxima (RENNÓ et al., 2008; NOBRE et al., 2011; MENGUE et al., 2016). O mapa foi refinado para uma escala de 1:30.000, de acordo com o método de precisão gráfica do Manual técnico de cartografia do IBGE (IBGE, 1999).

Para determinação do Fator K, foram realizados trabalhos de campo para a coleta de amostras de solos (total de nove amostras) e análises em laboratório para classificação da textura. Os valores do fator K foram definidos com bases no tipo e nas características do solo e na literatura especializada (Duarte et al., (2020); Lima et al., (2016)).

Os resultados do fator K foram comparados com a classificação proposta por Manningel et al. (2002) (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação dos solos em função do fator da erodibilidade (K)

Classes de Erodibilidade	Erodibilidade (t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)
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).

Conforme a classificação de Manningel et al. (2002) (tabela 2), o fator K varia de K > 0,0600 (extremamente alto) a K > 0,0090 (muito baixo) t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹, permitindo identificar os locais mais susceptíveis aos processos erosivos.

3.2.3 Fator topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) foi elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), correspondente à cobertura da área de estudo, obtido pelo Satélite ALOS e sensor PALSAR corrigido e refinado na etapa anterior de acordo com o método proposto por Oliveira (2017). O produto cartográfico do fator LS, de acordo com o método de precisão gráfica do Manual técnico de cartografia do IBGE, foi elaborado na escala 1:30.000 (IBGE, 1999). A Equação (3) proposta Pelton, Frazier e Pickilingis (2012) foi utilizada para a obtenção do fator LS.

$$LS = \left(\frac{FAC * CR}{22,1} \right)^{0,4} * \left(\frac{\sin(SLP * 0,01745)}{0,09} \right)^{0,4} \quad (3)$$

Na qual, LS é o fator topográfico; FAC o acúmulo de fluxo; CR a resolução da célula; e SLP a inclinação em graus.

3.2.4 Fator de manejo e Cobertura (C) e Práticas conservacionistas de suporte (P)

Foram utilizadas imagens geradas por meio do sensor Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) do satélite CBERS 04A, proporcionando a obtenção de resolução espacial de 2 m, disponibilizadas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), considerando as bandas pancromática (2m de resolução); e banda 1 (B1), banda 2 (B2), banda 3 (B3) e banda 4 (B4) com 8 m de resolução, obtendo assim, um produto com escala de 1:10.000, com base no método de precisão gráfica do Manual técnico de cartografia do IBGE (IBGE, 1999). As bandas espectrais representam o intervalo entre dois comprimentos de onda no espectro eletromagnético, sendo que, no caso do WPM, a banda pancromática, a B1, a B2, a B3 e a B4 estão localizadas no intervalo 0,45 - 0,90; 0,45 - 0,52 (azul); 0,52 - 0,59 (verde); 0,63 - 0,69 (vermelho); e 0,77 - 0,89 (infravermelho próximo), respectivamente (INPE, 2021).

As imagens foram utilizadas para classificação do uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas, que foi realizada no software livre QGIS 3.10.11® (QGIS, 2020) por meio do método da classificação supervisionada e em seguida, foi feita a correção topológica da mesma. Os valores para os fatores C e P serão definidos a partir de literatura especializada, considerando o Cerrado, conforme valores estabelecidos por Farinasso et al. (2006), Baptista

(2003), Helfer (2003), Silva et al. (2014), Bertoni e Lombardi Neto (2014), Barbosa (2015), Durães e Melo (2016), Ferreira et al. (2019) e Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Por fim, no que tange a classificação das imagens, a partir da matriz de confusão foi calculado o Índice Kappa, que se trata de um teste estatístico proposto por Jacob Cohen em 1960, utilizado para a avaliação da qualidade da classificação do uso e cobertura da terra. Leva em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal ou diagonal descendente. O Índice Kappa será estimado por meio da Equação (4) (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007):

$$K = (n * \sum_{i=1}^e X_{ii} - \sum_{i=1}^e X_{1+} * X_{+1}) / (n^2 - \sum_{j=1}^e X_{1+} * X_{+1}) \quad (4)$$

Sendo que: K é uma estimativa do coeficiente Kappa; n, o número total de amostras; c, o número total de classes; x_{ii}, o valor na linha i e coluna i, ou seja, o valor da diagonal da matriz de confusão, de forma descendente; x_{i+}, a soma da linha i; e x_{+i}, a soma da coluna i da matriz de confusão.

O mapa de uso e cobertura da terra será foi avaliado com base em uma escala de valores que definem a qualidade da classificação a partir de resultados obtidos pelo Índice Kappa (Tabela 3), conforme Landis e Koch (1977).

Tabela 3. Qualidade da classificação conforme intervalos do Índice Kappa

Valor Kappa	Qualidade da classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

3.3 Integração dos fatores

Para o cálculo da estimativa de perda de solo na área de estudo, foi feita a integração dos fatores naturais (R, K e LS) e antrópicos (C e P), o que possibilitou a geração do mapa de

perda de solo potencial e o mapa de perda de solo real. A EP corresponde ao produto dos fatores R, K e LS (Equação 1). Os produtos cartográficos da EP foram gerados na escala de 1:60.000, de acordo com o método de precisão gráfica do Manual técnico de cartografia do IBGE (IBGE, 1999). A ER é o produto da EP e dos fatores C e P (Equação 1). Os produtos cartográficos da erosão real foram elaborados na escala de 1:60.000 (IBGE, 1999).

3.4 Classificação e interpretação dos resultados

O resultado anual para a EP foi classificado e interpretado de acordo com a proposta de Valério Filho (1994) (Tabela 4). Já para a erosão real, foi considerada a proposta de Beskow et al., (2009) (Tabela 5). As erosões mensais serão quantificadas para cada categoria de uso e analisadas.

Tabela 4. Classificação e categorias de perda de solo para a erosão potencial

Perda de solo (tn.mm.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Categoria
0 - 400	Fraca
400 - 600	Moderada
600 - 1600	Média
1600 - 2400	Forte
> 2400	Muito forte

Fonte: Valério Filho (1994).

Tabela 5. Classificação e categorias de perda de solo para a erosão real

Perda de solo (tn.mm.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	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).

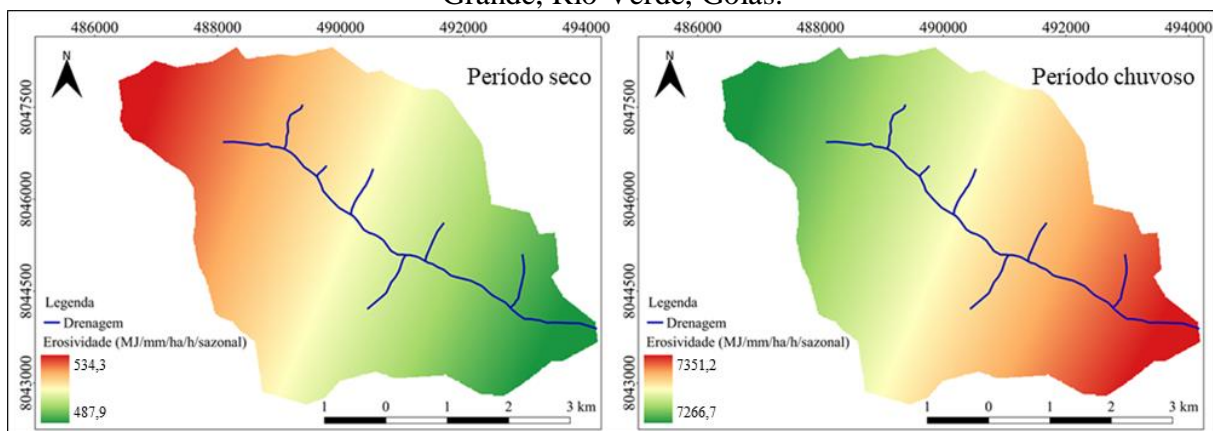
Em relação à EP, de acordo com a classificação de Valério Filho (1994), os valores variam de 0 – 400 (fraca) a EP > 2400 (muito forte) $\text{tn.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, permitindo avaliar a influência dos fatores naturais nos processos erosivos nos ambientes. Já para a ER, segundo a classificação de Beskow et al., (1990), os valores podem variar de 0 – 2,5 (ligeira) a ER > 100 (extremamente alta), proporcionando a geoespacialização áreas mais susceptíveis aos processos erosivos quando considerados os fatores bióticos e antrópicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A intensidade da chuva é considerada a característica de maior influência no fenômeno erosivo, seguida da duração, considerada seu complemento e determina a chuva total. Em relação à ocorrência dos processos de erosão hídrica, fatores como a distribuição do tamanho, a velocidade e a energia cinética das gotas, a intensidade, duração e frequência da chuva se destacam, sendo o conjunto destes fatores conhecido como a erosividade da chuva (PRUSKI, 2009; BACK; POLETO, 2017) Sendo assim, o conhecimento dos valores de erosividade durante o ano são de suma importância, pois é possível priorizar períodos do ano que necessitam de mais atenção para práticas de manejo e de conservação do solo e da água (TRINDADE et al. 2016; ALMEIDA et al. 2017).

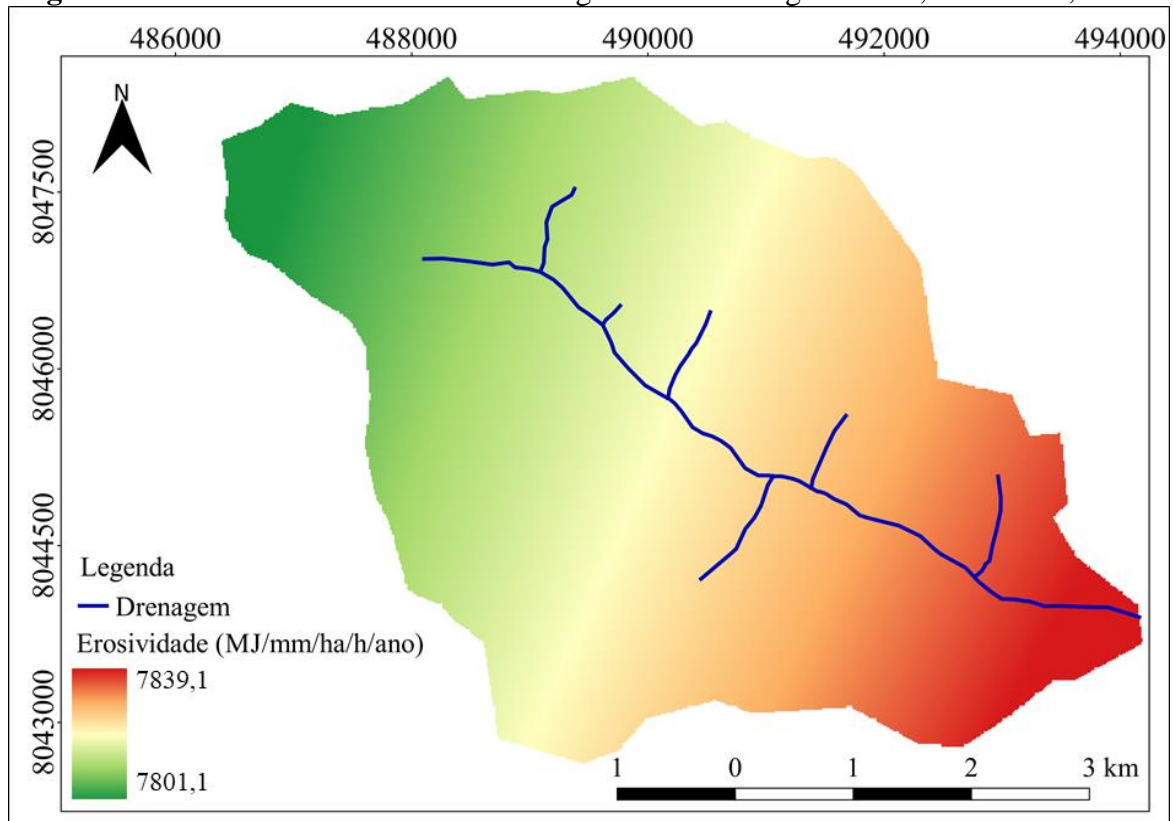
Na figura 3 e figura 4, são apresentadas a erosividade sazonal (período seco e chuvoso) e anual, respectivamente. Os resultados da erosão anual foram comparados com a classificação proposta por Carvalho (2008) (Tabela 1).

Figura 3. Erosividade sazonal (período seco e chuvoso) da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás.



Fonte: Elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Figura 4. Erosividade anual da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás



Fonte: Elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona

22.

Os maiores valores de erosividade foram encontrados no período sazonal (janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro) (figura 3). A erosividade nesses meses, de acordo com a classificação de Santos (2008), é classificada como muito forte (Tabela 1), demonstrando a forte influência dos períodos chuvosos nos processos erosivos. Já nos meses mais secos (abril, maio, junho, julho, agosto e setembro), é classificada como muito baixa. Por fim, a erosividade anual é considerada alta na referida Bacia.

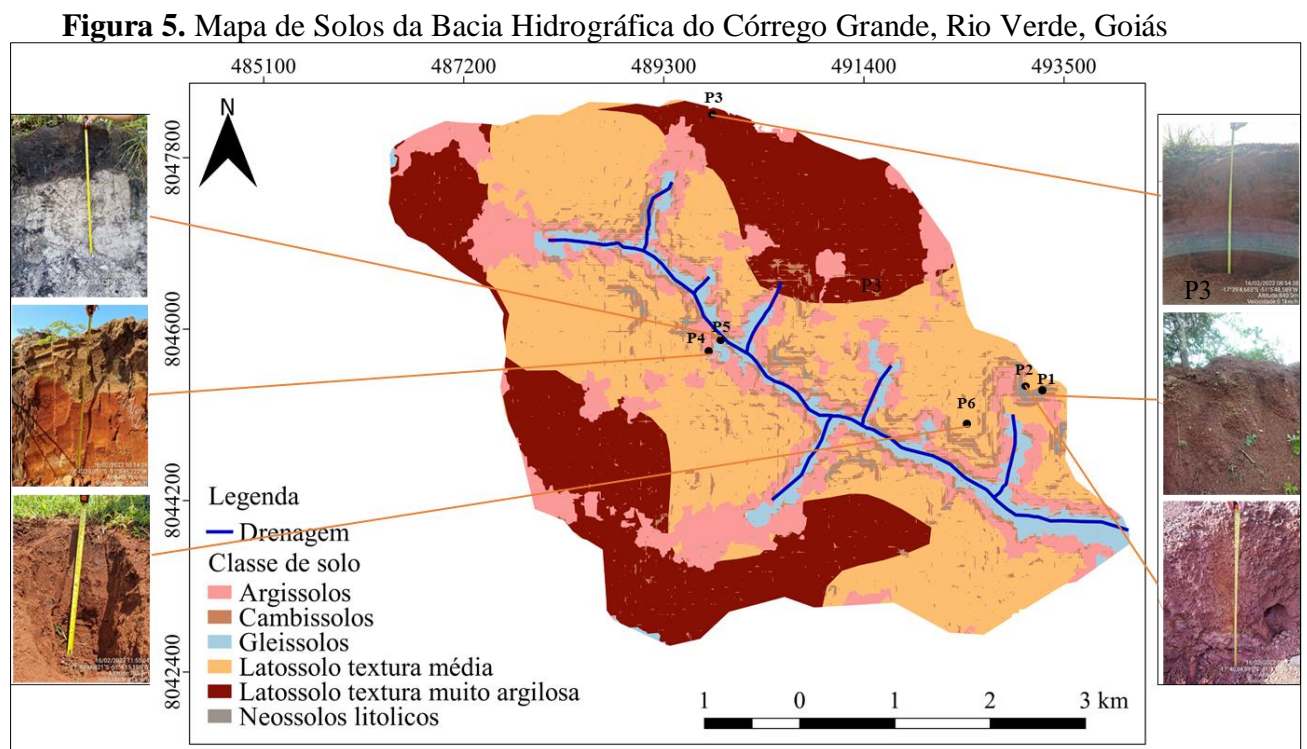
No estudo realizado por Florentim et al. (2020) sobre a erosividade mensal e anual na BH do Córrego Fundo, Aquidauana, Mato Grosso do Sul, foram encontrados valores de erosividade média anual que variaram de 7749,29 a 7800,55 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano, com valor médio de 7.781 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano, sendo considerada alta. De acordo com os autores, assim como na BH do Córrego Grande, os meses com maiores valores de erosividade foram os mais chuvosos.

Back e Poletto (2018) sobre a erosividade no município de Florianópolis, Santa Catarina, também obtiveram resultados semelhantes ao do presente estudo, demonstrando a relação entre

períodos chuvosos e maiores valores de erosividade. O valor médio anual de erosividade encontrado pelos autores foi de $7522 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}$, sendo classificado como alto. Assim como no presente estudo, os valores mais baixos foram encontrados nos meses menos chuvosos.

O tipo de solo também influencia na susceptibilidade um ambiente aos processos erosivos, sendo representado pelo fator K. A textura é a principal variável que afeta os valores do fator K, entretanto, outras variáveis como estrutura, matéria orgânica, e permeabilidade também contribuem (FU et al., 2021; MANAOUCH et al., 2021).

O Latossolo textura média corresponde a maior área, cerca de 38,66% da área total de estudo, seguido pelo Latossolo textura muito argilosa (29,85%), Argissolos (16,98%), Cambissolos (7,42%), Gleissolos (6,25%) e Neossolo litólico (0,83%). Os valores de erodibilidade variaram de $0,0131 \text{ tn.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ a $0,0702 \text{ tn.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ (Figura 5, Figura 6 e Tabela 6).



Elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

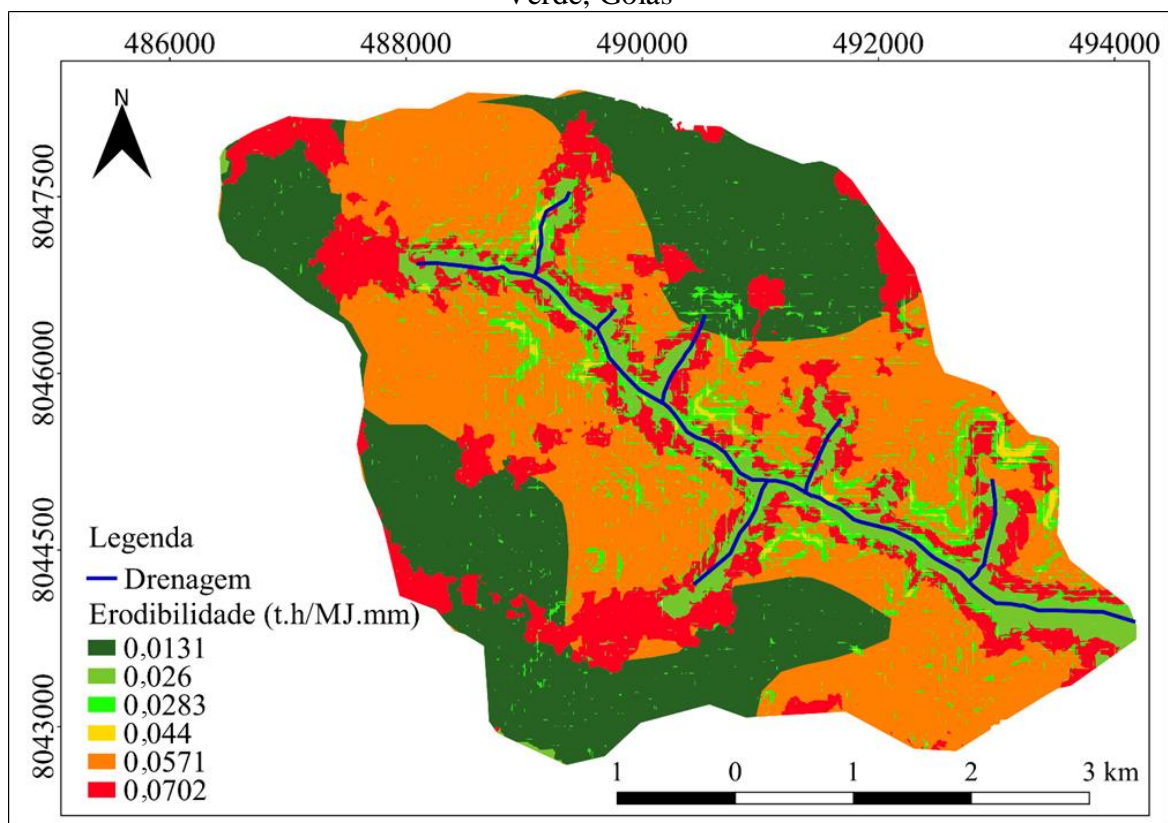
Fonte: Mapa atualizado e organizado pelos autores (2021) conforme Santos et al. (2018a) a partir do Mapa de Solos da Bacia do Rio Paranaíba gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (2005) e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2021).

Tabela 6. Tipos de solos, textura e % das frações granulométricas da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás

Tipo de solo	Área (ha)	%	Horizonte	Classificação	Cor	%
--------------	-----------	---	-----------	---------------	-----	---

				textural		Areia	Silte	Argila
Argissolos	481,0081	16,98	A	Arenosa	Vermelho	86	4	10
			B	Arenosa	escuro	86	2	12
Cambissolos	210,1367	7,42	A	Argilosa	Vermelho	35	17	48
			B	Média	escuro	74	10	16
Gleissolos	177,0975	6,25	A	Arenosa	Preto	86	2	12
Latossolo	1094,6982	38,66	A	Média	castanho-	78	6	16
textura			B	Arenosa	avermelha	78	8	14
média					do escuro			
Latossolo	845,4514	29,85	A	Argilosa	Vermelho	53	6	41
textura muito			B	Média	escuro	61	8	31
argilosa								
Neossolo	23,5682	0,83	-	-	-	-	-	-
litólico								
Total	2831,96	100	-	-	-	-	-	-

Figura 6. Mapa de Erodibilidade do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás



Elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Fonte: Mapa atualizado e organizado pelos autores (2021) conforme Santos et al. (2018) a partir do Mapa de Solos da Bacia do Rio Paranaíba gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (2005) e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2021).

Tabela 7. Valores de erodibilidade da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás

Tipo de solo	K (tn.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Fonte
Argissolos	0,0702	Lima et al. (2016)
Cambissolos	0,0283	Lima et al. (2016)
Gleissolos	0,026	Duarte et al. (2020)
Latossolo textura média	0,0571	Lima et al. (2016)
Latossolo textura muito argilosa	0,0131	Lima et al. (2016)
Neossolo litólico	0,0440	Lima et al. (2016)

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 ^aDuarte et al. (2020) e ^bLima et al. (2016).

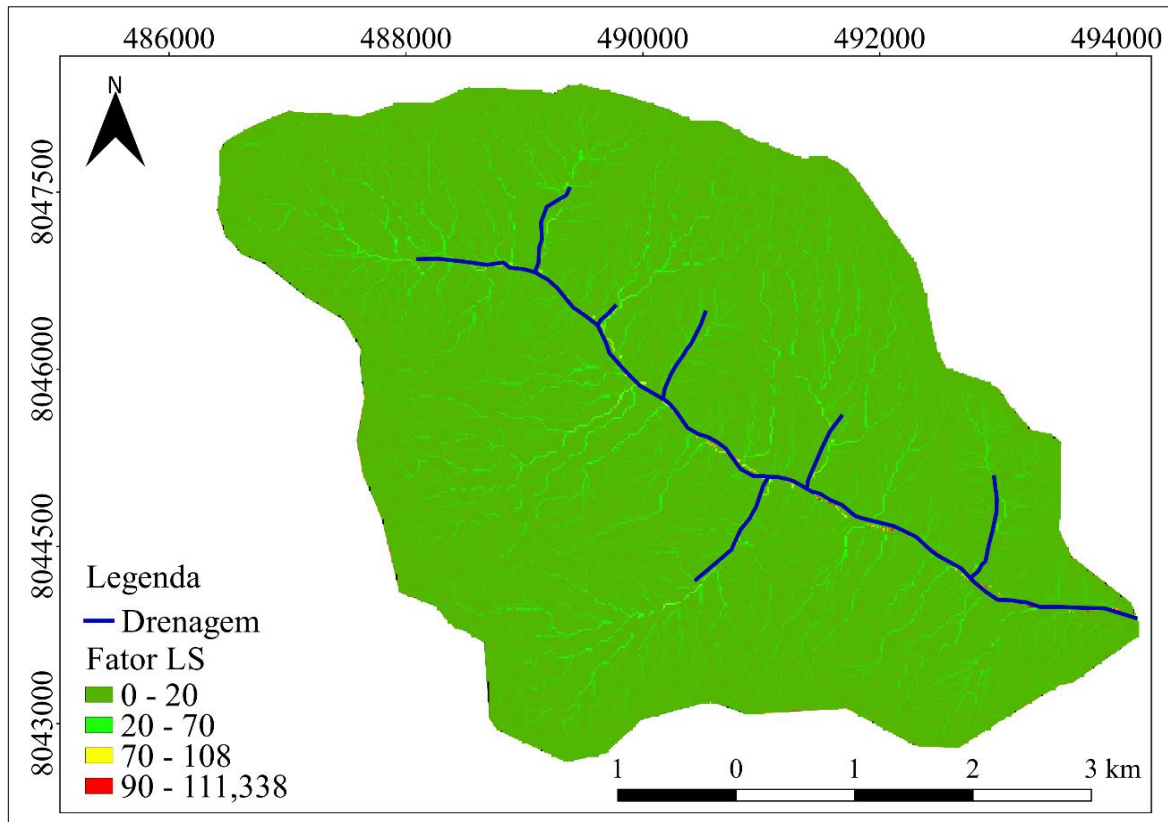
Os resultados de erodibilidade, quando comparados com a classificação de Manningel et al. (2002) (Tabela 2), são classificados de baixo (latossolo textura muito argilosa) a extremamente alto (argissolos). Os solos classificados nas classes alto, muito alto e extremamente alto representam 56,47% do total da BH do Córrego Grande (Tabela 6 e Tabela 7). Observa-se também que os cambissolos e argissolos estão localizados mais próximos dos cursos hídricos, que são os locais de maior declividade, podendo favorecer possíveis processos erosivos, impactando assim, os cursos hídricos.

No estudo realizado por Tolentino et al. (2020) na BH do rio São Lamberto, Minas Gerais, Brasil, os autores encontraram valores diferentes do presente estudo, que variaram de 0,0112 a 0,0368 t.ha.MJ⁻¹.mm⁻¹. O maior valor encontrado foi para o Neossolo Litólico, que compreende apenas 0,8% da área de estudo. De acordo com os autores, o Neossolo Litólico é um solo raso, normalmente associado a relevos mais declivosos.

Já Marques et al. (2019) aplicaram diferentes métodos na avaliação da erodibilidade no Córrego Água Azul, Ceres, Goiás. Os maiores valores encontrados pelos autores foram para o cambissolo háplico Tb Eutrófico típico, que representa 10,6% da área de estudo. Esses solos são caracterizados pela restrição à drenagem e susceptibilidade à formação temporária de um lençol de água suspenso (EMBRAPA, 2021), o que pode facilitar os processos erosivos a depende de outros fatores, como a declividade.

O efeito da topografia na erosão do solo é contabilizado por meio do comprimento da encosta e pelo fator de inclinação da encosta (LS) (KARAN et al. 2019). De acordo com Silva et al., (2020), o fator LS expressa as relações do relevo no processo de perdas de solos. De acordo com a figura xx, o fator LS variou de 0 a 111,338.

Figura 7. Mapa de comprimento de rampa e declividade da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás.



Fonte: Elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

De acordo com a figura 7, percebe-se que as áreas com os maiores valores estão localizadas próximas aos cursos hídricos. Isso é preocupante, pois caso não adotadas medidas mitigadoras de impactos ambientais locais, como a conservação do solo, o ambiente pode ficar mais susceptível aos processos de erosão hídrica e resultar em possíveis impactos ambientais negativos, principalmente quando associados aos demais fatores naturais (fator R e fator K).

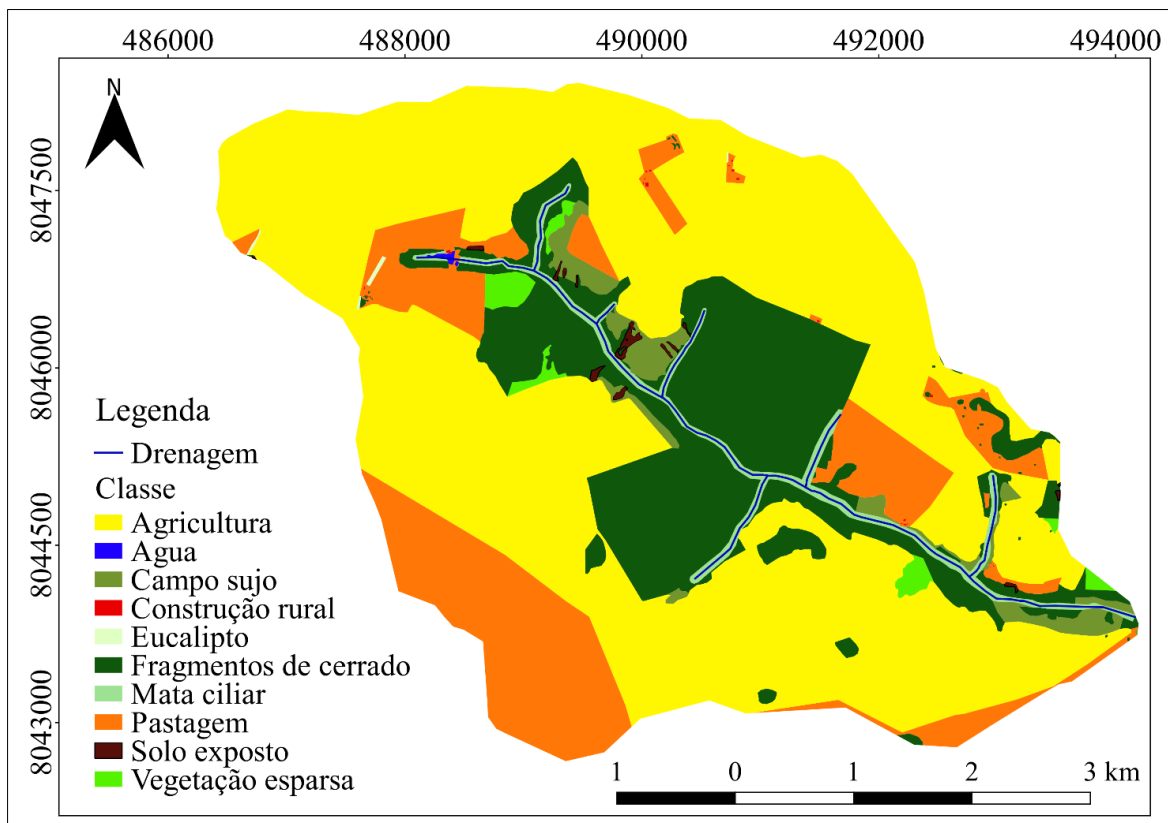
Amaral et al., (2020), assim como na BH do Córrego Grande, também encontraram valores superiores nas áreas próximas aos cursos hídricos em uma região montanhosa localizada em Santa Catarina. No estudo de Nachtigall et al., (2020) na BH do Arroio Fragata, Sul do Brasil, os autores encontraram valores que variaram de 0,027 – 33 e, assim como na BH do Córrego Grande, observaram valores maiores nos ambientes próximos aos cursos hídricos.

Já Mohammed et al., (2020), diferente da BH do Córrego Grande, observaram valores de 0 a 31,54 no sul da Síria, onde os maiores resultados foram encontrados próximos aos vales. O mesmo foi encontrado por Pereira e Cabral (2021) nas BHs dos ribeirões Taquaruçu Grande

e Taquaruçuzinho, sendo que os maiores valores de fator LS coincidem com os maiores declives das áreas estudadas, com terrenos fortemente ondulados e montanhosos.

As mudanças no uso do solo podem ter algumas consequências, como por exemplo as erosões, alteração da forma das vertentes e taludes, assoreamento dos cursos d'água, mudança do nível de base dos cursos d'água, diminuição da qualidade da água, alteração do ritmo e da vazão do curso d'água e outros (ESTEVAM-ALVES et al., 2016). Na figura 8 e tabela 9, são apresentados o mapa de uso e cobertura do solo e os valores de cada classe de uso da BH do Córrego Grande.

Figura 8. Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás.



Fonte: elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

A maior parte da área da bacia hidrográfica é ocupada pela agricultura (59,77%), seguida dos fragmentos de cerrado (18,67%) e pastagem (15,39%). Ressalta-se também a presença de solo exposto que totaliza 1,25% do total, que são as categorias com os maiores valores de C, ou seja, mais susceptíveis à erosão hídrica (figura 9 e tabela 10).

Pereira et al., (2019) analisaram o uso e a ocupação do solo em municípios que fazem parte do Corredor Bioceânico localizado no Estado do Mato Grosso do Sul e que também possuem territórios inseridos na Bacia do alto Paraguai. Segundo os autores, os resultados revelaram que, em média, 60% dos municípios tiveram parte de sua vegetação nativa substituídas por monoculturas e pastagens exóticas. Ou seja, semelhante à BH do Córrego Grande, os autores mostram o quanto a presença de atividades antrópicas é significativa nessa região.

Oliveira et al., (2021), sobre o uso e cobertura da terra da alta BH do Ribeirão da Laje, Rio Verde, Goiás, verificaram que a bacia está submetida a uma forte ocupação antrópica, pois as áreas de agricultura, pastagem, área urbana e indústria representam 83,25% do total, sendo as áreas agrícolas as mais representativas (34,29%), podendo favorecer os processos erosivos.

As áreas de vegetação (fragmentos de cerrado, campo sujo, mata ciliar e vegetação esparsa) totalizam 24,47 % do total da BH. De acordo com Alvarenga et al. (2016), a manutenção da cobertura florestal em uma bacia hidrográfica é fundamental para a conservação do solo e da água, minimizando os impactos da erosão do solo.

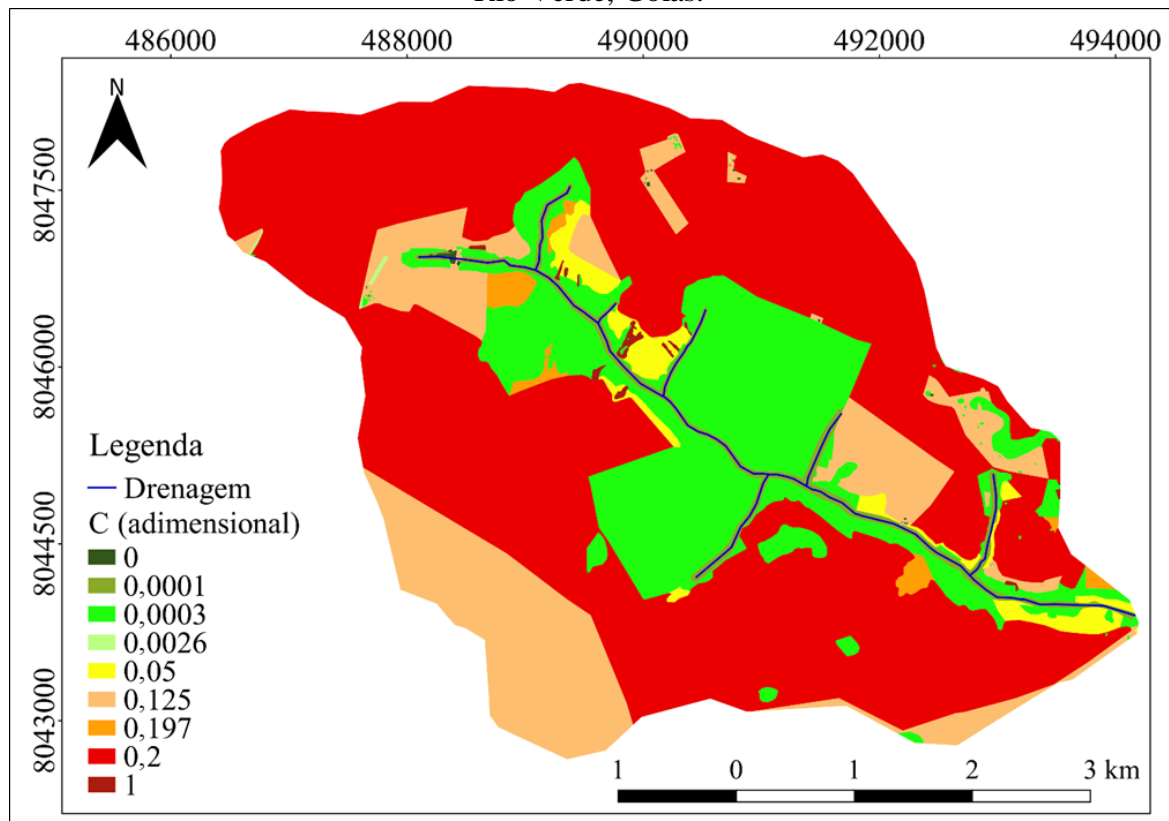
Em relação à matriz de confusão, estas foram feitas por meio da classificação das imagens e amostras de validação por meio das imagens utilizadas para a determinação do uso e cobertura da terra (amostras kappa) (Tabela 8). O resultado do Índice Kappa para 2021 das imagens do CBERS-04A foi de 0,77, sendo considerada de qualidade muito boa, de acordo com Landis e Koch (1977).

Tabela 8. Matriz de confusão da classificação da imagem de 2013 (Landsat) da bacia hidrográfica do Córrego Grande, Sudoeste de Goiás, Brasil

Classe/amostra kappa	Amostra (A) de validação (kappa)										Total
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	
Pastagem	63	0	0	7	0	0	3	0	1	0	74
Agricultura	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	101
Fragmento de cerrado	11	0	63	34	7	4	0	20	0	0	139
Campo sujo	4	0	2	38	0	1	0	2	0	0	47
Vegetação esparsa	9	0	0	2	11	0	0	0	0	0	22
Solo exposto	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31
Construção rural	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	18
Mata ciliar	0	0	0	1	0	0	0	63	0	0	64
Água	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30
Eucalipto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15
Total	88	100	65	82	18	36	21	85	31	15	541

Os fatores antrópicos (fator C e fator P) são de uso e ocupação do solo, sendo que o fator C representa o grau de proteção contra os impactos dos processos erosivos em decorrência do tipo de cobertura do solo e técnicas de manejo existentes. Já o fator P está relacionado à intensidade da perda de solo resultante da utilização de práticas conservacionistas de caráter mecânico (SCARPINELLA et al., 2019; TOLENTINO et al., 2020).

Figura 9. Mapa do fator de uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás.



Fonte: elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Tabela 9. Uso e cobertura da terra (C) da bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás

Categoria	Área (ha)	Em %	Fator C	Fonte
Mata ciliar	69,1763	2,44	0,012	Farinasso et al. (2006)
Vegetação esparsa	28,6981	1,01	0,197	Alves (2018)
Campo sujo	66,5637	2,35	0,05	Helfer (2003)
Fragmentos de cerrado	528,6841	18,67	0,00030	Helfer (2003)
Eucalipto	1,7589	0,06	0,12	Silva et al. (2014)
Pastagem	435,7263	15,39	0,125	Bertoni e Lombardi Neto (2014)
Agricultura	1692,7943	59,77	0,2	Barbosa (2015)
Construção rural	0,7404	0,03	0	Durães e Melo (2016)
Solo exposto	6,7035	0,24	1	Bertoni e Lombardi

				Neto (2014)
Água	1,1142	0,04	0	Ferreira et al. (2019)
Total	2831,96	100		

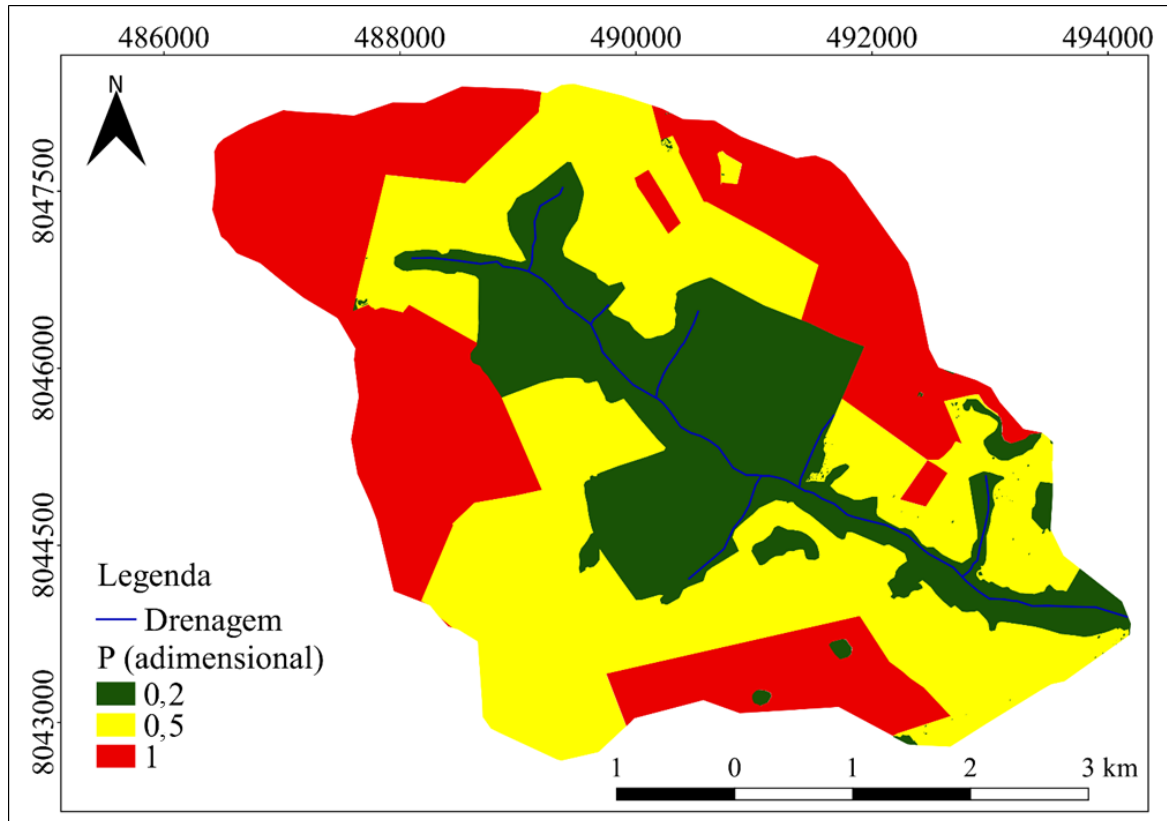
Os resultados para o fator C mostram que há uma grande presença antrópica na área de estudo, visto que as principais atividades (agricultura e pastagem para criação animal) representam 75,16% do total (Tabela 9). A presença de algumas categorias como solo exposto (0,24% do total) é preocupante, pois isso demonstra que tais processos podem ser oriundos de interferência antrópica. De acordo com Rodrigues et al. (2020), uma das principais causas da degradação da qualidade ambiental é consequência, principalmente, da ausência de planejamento do ser humano para o uso dos recursos naturais, sendo que a intervenção humana para a recuperação desses ambientes é fundamental.

No estudo realizado por Girmay et al. (2020) no norte da Etiópia, os autores encontraram resultados semelhantes à BH do Córrego Grande, sendo os maiores valores de C constatados nas áreas antropizadas, as quais representam 81,65% da área de estudo. Já nas áreas verdes, foram verificados os menores valores. Mohammad Basri et al. (2019) também observaram uma tendência semelhante, ou seja, os maiores valores encontrados para o fator C foram nas áreas mais desprotegidas, ressaltando assim a importância da preservação de áreas verdes no intuito de minimizar possíveis processos erosivos.

A implementação de projetos recuperação das áreas degradadas na BH do Córrego Grande é de suma importância, visto que esses ambientes são os que possuem maior fator C, ou seja, locais com menor cobertura. Boaventura et al. (2019) corroboram com essa afirmando, ressaltando que além da garantia do equilíbrio ambiental local e da preservação da vida animal e florística, a recuperação de áreas degradadas é necessária à própria existência humana.

O fator P está relacionado com a intensidade da perda de solo resultante da utilização de práticas conservacionistas de caráter mecânico (SCARPINELLA et al., 2019; TOLENTINO et al., 2020). Na figura 10 e tabela 10, são apresentados o mapa do fator P e a área ocupada por cada categoria, respectivamente.

Figura 10. Mapa de Práticas conservacionistas da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás



Fonte: elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Tabela 10. Práticas conservacionistas (P) da bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás

Práticas conservacionistas	Em ha	Em %	Valor de P
Plantio morro abaixo	934,9277	33,01	1,0
Plantio em contorno/terraço	1198,5352	42,32	0,5
Cordões de vegetação permanente	658,4971	24,66	0,2
Total	2831,96	100	

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1999)

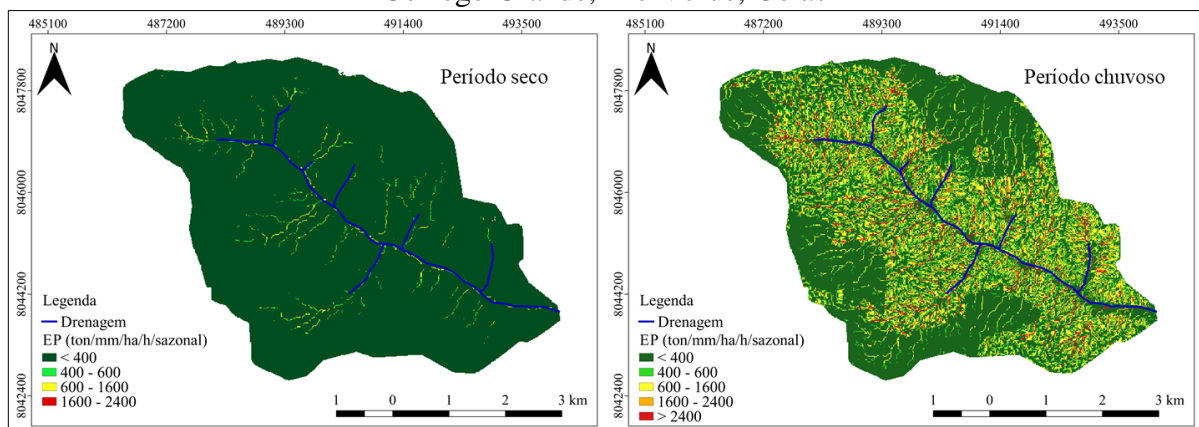
O plantio em contorno/terraço é a categoria mais representativa do fator P (42,32%), seguido do plantio morro abaixo (33,01%) e cordões de vegetação permanente (24,66%) (Tabela 10). Esses resultados mostram que as áreas com o maior valor P (ou seja, áreas mais propensas aos processos erosivos) são as mais representativas (plantio morro abaixo e plantio em contorno/terraço), totalizando 75,33% do total. Esses valores, quando analisados em conjunto com o Fator C são preocupantes, visto que a maioria da área de estudo é antropizada e caso não sejam adotadas práticas conservacionistas adequadas, o ambiente fica mais susceptível a possíveis impactos ambientais oriundos da erosão hídrica.

A presença de práticas de plantio de morro abaixo e plantio em contorno/terraço também foi observada no estudo de Amaral et al., (2020) na Bacia do Córrego Baguaçu, São Paulo. Assim como no presente estudo, o plantio em contorno/terraço foi a categoria mais representativa na área de estudo (84,9%). Os autores ressaltaram ainda que as áreas de pastagens foram os locais com maior ausência de práticas conservacionistas. Já Gottstein et al., (2019), na bacia do Rio do Campo, Paraná, encontraram os maiores valores do fator P nas áreas antropizadas (61,32% da categoria lavoura temporária), onde, segundo os autores, são as áreas que mais expõem o solo à erosão; em relação aos menores valores, esses foram das áreas verdes, ou seja, cordões de vegetação/vegetação densa (6,99% da área de estudo).

É de suma importância adoção de práticas conservacionistas eficientes a fim de se evitar futuros impactos ambientais negativos ocasionados pelos processos erosivos, pois, de acordo com Silva e Luchiari (2016), alguns dos problemas ocasionados pela erosão hídrica são o assoreamento de canais de águas fluviais, a compactação dos solos, a remoção de nutrientes da camada superficial do solo e a poluição hídrica, causando assim, enormes prejuízos como a perda de produtividade, custos com corretivos e fertilizantes e outros fatores.

Na figura 11, figura 12, tabela 11 e tabela 12 são apresentados os mapas e valores de erosão potencial sazonal (períodos seco e chuvoso) e anual.

Figura 11. Erosão potencial (EP) sazonal (período seco e chuvoso) da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás



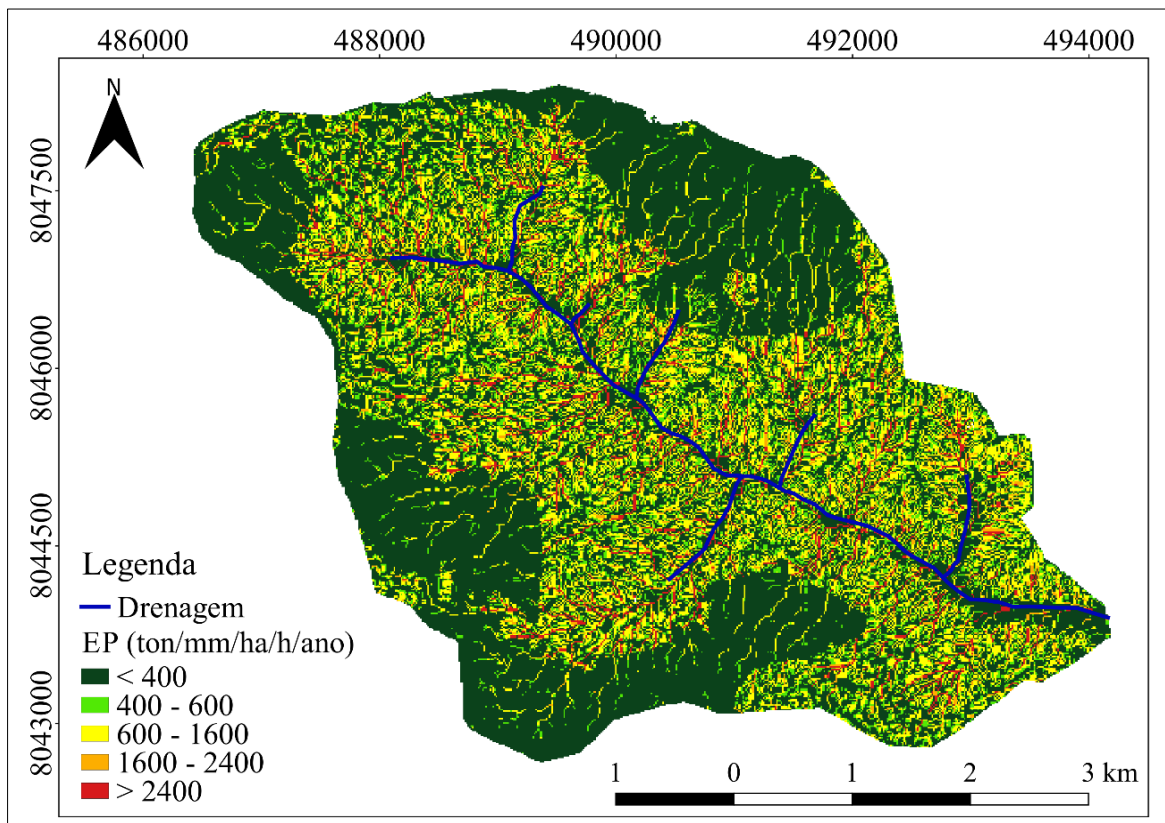
Fonte: elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Tabela 11. Valores da EP sazonal da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás

Perda de solo em tn.ha ⁻¹	Período seco		Período chuvoso	
	Em ha	Em %	Em ha	Em %

$^1.\text{ano}^{-1}$				
0 -400 (Fraca)	2804,3685	99,03	1854,0743	65,47
400 -600 (Moderada)	16,2276	0,57	282,5773	9,98
600 -1600 (Média)	11,3482	0,40	506,7389	17,89
1600 -2400 (Forte)	0,0158	0,001	74,7332	2,64
> 2400 (Muito forte)	2804,3685	-	113,8363	4,02
Total	2831,96	100	2831,96	100

Figura 12. Erosão potencial anual da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás



Fonte: Elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Tabela 12. Valores da EP anual da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás

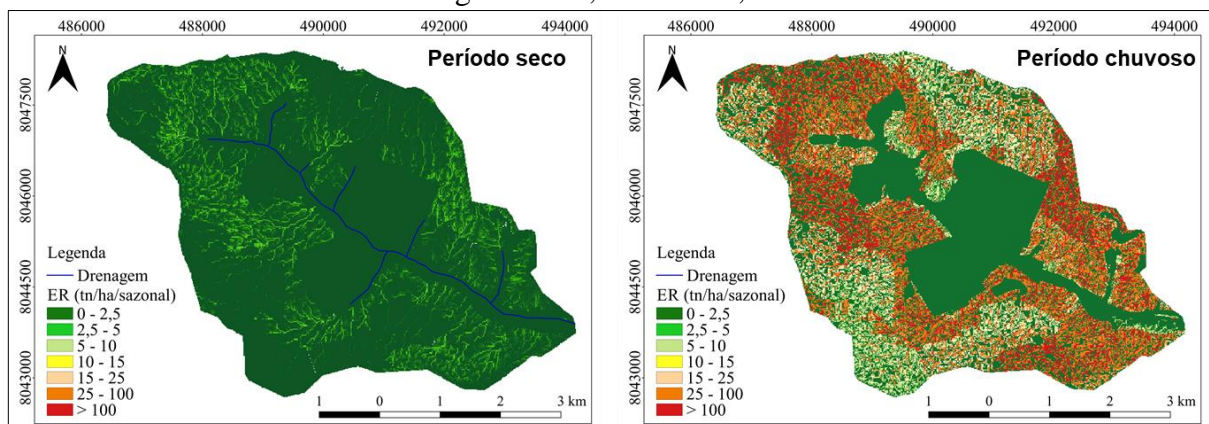
Perda de solo em $\text{tn}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	Em ha	Em %
0 -400 (Fraca)	1782,7408	62,95
400 -600 (Moderada)	303,7772	10,73
600 -1600 (Média)	539,4140	19,05
1600 -2400 (Forte)	82,3415	2,91
>2400 (Muito forte)	123,6865	4,37
Total	2831,96	100

O resultado anual para a erosão potencial (considera os fatores natural do ambiente: R, K e LS) foi classificado e interpretado de acordo com a proposta de Valério Filho (1994) (Tabela 4). É possível verificar nos resultados de EP mensal (tabela 11) que o período com os menores valores é o seco (que considera os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro), demonstrando a grande influência que o fator R possui na erosividade do solo. Em relação à EP anual, grande parte da área de estudo tem a EP classificada como fraca (tabela 12). Entretanto, também foi possível observar valores de EP forte e muito forte (7,28% do total). Observa-se também que os locais com os maiores valores de EP foram encontrados próximos aos cursos hídricos, justamente nos locais com maior fator LS; e nas regiões caracterizadas pela presença de argissolos e latossolos de textura média, que são as categorias com os maiores valores de erodibilidade (figura 5, figura 6 e tabela 6).

No estudo realizado por Lense et al. (2020) na sub-bacia hidrográfica José Lúcio Creek, Sudeste brasileiro, os autores encontraram resultados semelhantes ao da BH do Córrego Grande, onde houve um predomínio da classe de EP muito fraca, ocupando 66,54% da área de estudo. Segundo os autores, o fator LS contribuiu para os ambientes com maiores valores de EP, que representaram 4,60% da área. Pinto et al., (2020) também ressaltaram a influência do fator LS nos valores de EP obtidos, visto que as áreas mais íngremes foram uma das que mais apresentaram valores altos de EP na sub-bacia hidrográfica do Córrego do Pântano II, no Município de Alfenas, Minas Gerais.

Na figura 13, figura 14, tabela 13 e tabela 14 são apresentados os mapas e valores de erosão real sazonal (períodos seco e chuvoso) e anual.

Figura 13. Erosão real (ER) sazonal dos períodos seco e chuvoso da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás.

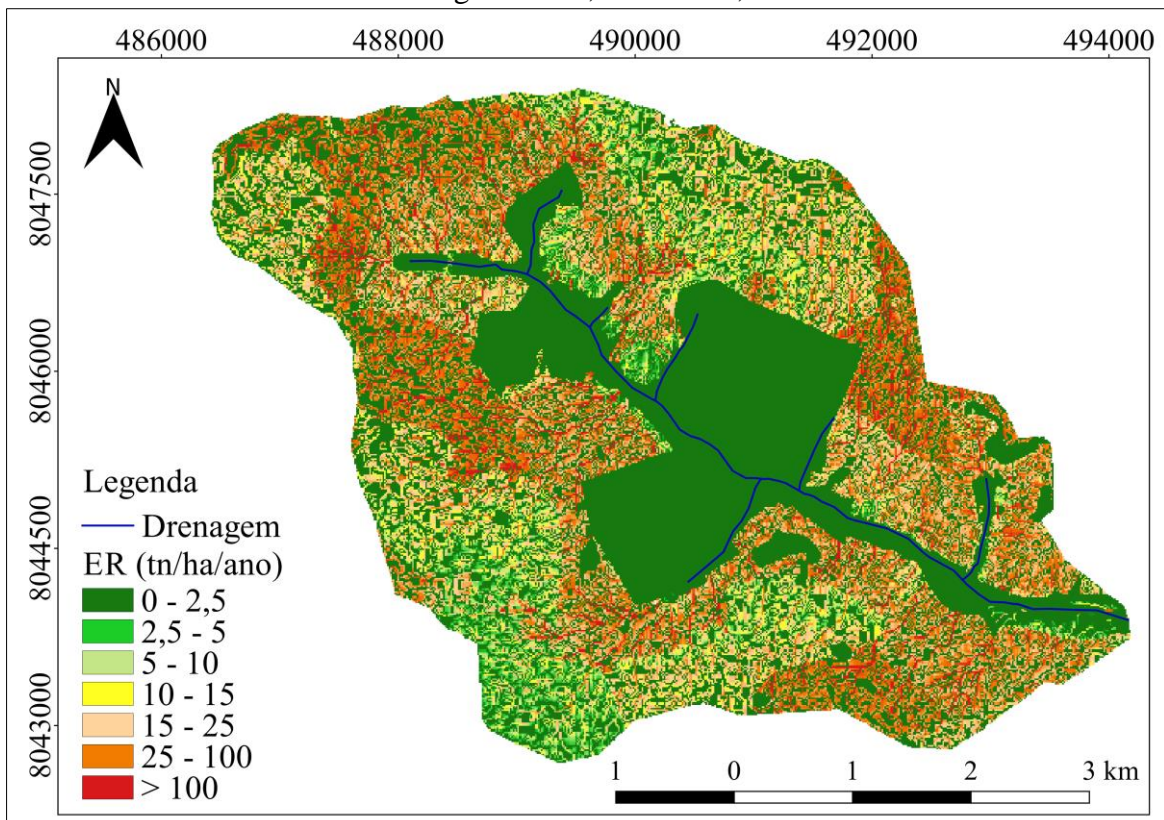


Fonte: Elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S

Tabela 13. Valores da ER sazonal da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás

Perda de solo em $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{sazonal}^{-1}$	Período seco		Período chuvoso	
	Em ha	Em %	Em ha	Em %
0 -2,5 (Ligeira)	2064,2318	72,89	1516,4918	53,55
2,5 -5 (Ligeira -moderada)	281,3088	9,93	24,3783	0,86
5 -10 (Moderada)	279,6639	9,88	102,0989	3,61
10 -15 (Moderada -alta)	91,7736	3,24	97,7659	3,45
15 -25 (Alta)	58,3003	2,06	162,2331	5,73
25 -100 (Muito alta)	54,8561	1,94	590,0793	20,84
>100 (Extremamente alta)	1,8256	0,06	338,9128	11,97
Total	2831,96	100	2831,96	100

Figura 14. Erosão real (ER) sazonal dos períodos seco e chuvoso da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás.



Fonte: Elaborado no Sistema de Coordenadas Projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Tabela 14. Valores da ER anual da Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Rio Verde, Goiás

Perda de solo em $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$	Em ha	Em %
0 -2,5 (Ligeira)	1514,2953	53,47
2,5 -5 (Ligeira -moderada)	22,4650	0,79
5 -10 (Moderada)	95,2971	3,37

10 -15 (Moderada -alta)	89,2448	3,15
15 -25 (Alta)	151,2238	5,34
25 -100 (Muito alta)	587,8129	20,76
>100 (Extremamente alta)	371,6212	13,12
Total	2831,96	100

O resultado anual para a erosão real foi classificado e interpretado conforme a classificação de Beskow et al. (2009) (Tabela 5). De acordo com a figura 13 e tabela 14, observa-se que o período com os maiores valores de ER são os do período chuvoso (janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro), coincidindo com os períodos de maior erosividade (figura 8 e figura 9). De acordo com a classificação de Beskow et al. (2009), as categorias muito alta e extremamente alta representam 32,81% do total da bacia.

Na erosão anual, as categorias ligeira e muito alta são as mais representativas da BH (53,47% e 20,76%). De acordo com a figura 14 e tabela 14, observa-se que as categorias com valores mais altos (alta, muito alta e extremamente alta) são mais visíveis nos locais próximos aos cursos hídricos (possivelmente por influência do fator LS), nos locais com presença de argissolo e latossolo textura média (maiores valores de erodibilidade) (figura 5, figura 6 e tabela 6) e também onde estão presentes atividades antrópicas e áreas degradadas/solo exposto (figura 8), visto que essas últimas são as que mais favorecem a erosão hídrica, possuindo os maiores valores do fator C e fator P (tabela 9 e tabela 10).

Em relação aos menores valores, estes estão localizados nos ambientes com presença de vegetação (fragmentos de cerrado, campo sujo e mata ciliar). De acordo com Sá et al., (2020), A vegetação desempenha um importante papel ambiental, pois permite a proteção da biodiversidade, dos mananciais de água, estabilização de encostas, restabelecimento da paisagem, equilíbrio climático, recuperação do solo, controle de poluição, entre outros.

Observação semelhante foi feita por Pinto et al., (2020) na sub-bacia hidrográfica do Córrego do Pântano II, Alfenas, Minas Gerais, onde as maiores taxas de perda de solo foram verificadas nas áreas sem cobertura vegetal e com relevo íngreme. Negese et al., (2021) em uma BH no Nordeste da Etiópia observaram que 56,3% da área da BH estudada tem muito pouca perda de solo; já os níveis severo e muito severo representam 14,4%. E, semelhante à BH do Córrego Grande os autores afirmaram que os maiores valores de perda de solo estão localizados nos ambientes mais íngremes.

Amaral et al., (2020) também observaram a correlação existentes entre os valores de ER obtidos com o fator LS, fator C e fator P. Gottstein et al., (2019) afirmou que as maiores perdas

de solo estão relacionadas com as classes de uso e ocupação do solo de lavouras temporárias e silvicultura, sendo ainda observadas as classes de declividades ondulado a forte ondulado, acima de 8% de inclinação, nestas regiões, reforçando a influência que o fator LS possui na perda de solo local.

5 CONCLUSÃO

Foi verificado que as atividades antrópicas presentes na área de estudo influenciaram nos resultados obtidos na ER, com destaque para as áreas caracterizadas pela presença de atividades antrópicas, em especial a agricultura. Os menores valores de ER foram verificados nos ambientes com presença de áreas verdes, reforçando sua importância para a prevenção das perdas de solos locais por meio de processos erosivos. Sobre os fatores físicos (R, K e LS), a erosividade influenciou diretamente nos resultados obtidos na EP e ER periódicas; em relação à erodibilidade, os locais com os maiores valores de K foram caracterizados pela presença de altos valores de EP e ER; e o mesmo foi observado nas regiões com maior declividade (principalmente próximo aos cursos hídricos).

Esse estudo é de suma importância para subsidiar a elaboração políticas conservacionistas para a gestão ambiental dessa bacia hidrográfica, visto a forte influência antrópica que está submetida. Para isso, é fundamental um monitoramento contínuo por pesquisadores, instituições de pesquisa e agentes governamentais na presente bacia, a fim de garantir a qualidade ambiental das áreas preservadas e desenvolver medidas mais sustentáveis nos ambientes que são praticadas atividades antrópicas, minimizando as perdas de solo locais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.Q. et al. Modelling the spatial dependence of the rainfall erosivity index in the Brazilian semiarid region. **Pesq. agropec. bras.** v. 52, p. 371-379, 2017.
- ALVARENGA, L. A. Assessment of land cover change on the hydrology of a Brazilian headwater watershed using the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model. **Catena**, v. 143, p. 7 – 17, 2016.
- ALVES, W. S. et al. Análise morfométrica da bacia do ribeirão das Abóboras – Rio Verde (GO). **Revista Geociências**. v.35, n.4, p. 652-667, 2016.
- ALVES, W.S, MARTINS, A. P., SCOPEL, I., 2018. Fragilidade ambiental: subsídio ao planejamento e à gestão da bacia do ribeirão da Laje (GO), Brasil. **Geografia, Ensino & Pesquisa [online]**. v. 22, p. 1 – 17, 2018.
- ALVES, W. S. et al. Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 7, p. 3636-3658, 2020.
- AMARAL, L. K. et al. Estimation of soil loss by the USLE model in a mountain basin in the south of Santa Catarina state, Brazil. **REGET**, v. 24, n. 20, p. 1 – 23, 2020.
- AMARAL, F. E. et al. Uso de técnicas de geoprocessamento na otimização do traçado de sistemas adutores de abastecimento de água com a utilização de uma base de dados de alta definição. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 25, n. 2, p. 381 – 391, 2021.
- 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: 15 ago. 2021.
- BACK, A. J.; POLETO, C. Avaliação temporal do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis – SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 264 – 283, 2017.
- BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo Geotecnológico e aplicação**. Editora Universa. Brasília, DF. 140p. 2003.
- 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.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- BESKOW, S. et al. Erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 49-59, 2009.
- BRASIL. Presidência da República. Lei n. 9477, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei

no 8.001. de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990. de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 09 janeiro de 1997.

BOAVENTURA, K. J. et al. Recovery of degraded areas in Brazil: concept, history and perspectives. **Tecnia**, v. 4, p. 124 – 145, 2019.

CARDOSO, M.R.D. et al. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, v. 8, p. 40-55, 2014.

CARVALHO N.O. **Hidrossedimentologia prática**, 2 ed. Interciência Rio de Janeiro, 2008.

CASSOL, E. A. et al. Soil Erodibility under Natural Rainfall Conditions as the K Factor of the Universal Soil Loss Equation and Application of the Nomograph for a Subtropical Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1 – 12, 2018.

COSTA, B.O. et al. Fatores de erosão do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Repositório Institucional (UNESP)**, v. 21, n. 3, p. 530 – 544, 2016.

COUTINHO, L. M. et al. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 1, p. 01 – 09, 2014.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, ESALQ, 81p. (Tese de Doutorado), 1990.

DUARTE, M. L. 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.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21 n.4, 677-685, 2016.

ESTEVAM-ALVES, R. et al. Degradação e fragilidade dos solos no sudoeste de Goiás: o caso da bacia hidrográfica do Ribeirão da Picada. **Revista Geográfica de América Central**, n. 56, p. 235-258, 2016.

FARINASSO, M. et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminarem 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**, n. 2, p. 73 – 85, 2006.

FERNANDES, F. H. S.; MOREIRA, A. A.; NERY, C. V. M. Dinâmica do uso e ocupação do solo da área desapropriada do lago artificial do bico da pedra no norte do estado de Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 50, p. 187–206, 2014.

FERREIRA, A. B. R. et al. Estimativa de perda de solo no oeste da Bahia (Brasil) a partir da alteração do uso e cobertura da terra. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 72, p. 560 – 573, 2019.

FLORENTIM, E. T. S. 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. 1 – 10, 2021.

FREIRE-SILVA, J. et al. Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 4, p. 228 – 239, 2019.

FITZ, P. R. Classificação de imagens de satélite e índices espectrais de vegetação: uma análise comparativa. **GEOSUL**, v. 35, n. 76, p. 171 – 188, 2020.

FU, A. et al. Estimating the Impact of Land Cover Change on Soil Erosion Using Remote Sensing and GIS Data by USLE Model and Scenario Design. **Hindawi**, v.1, p. 1 – 10, 2021.

GIRMAY, G. et al. Estimation of soil loss rate using the USLE model for Agewmariayam Watershed, northern Ethiopia. **Agriculture & Food Security**, v. 9, n. 9, p. 1 – 12, 2020.

GHOSAL, K.; DAS BATTACHARYA, S. A Review of RUSLE Model. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 48, n.4, p. 689–707, 2020.

GOTTSTEIN, P. et al. Uso de sistema de informação geográfica para determinação do potencial erosivo de bacias hidrográficas: estudo de caso na bacia do Rio do Campo/PR. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 20, n. 3, p. 352 – 367, 2019.

HELPER, F. et al. 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, 2003, Curitiba, PR. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo, SP: 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA – IBGE. **Noções cartográficas para base operacional geográfica / IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE. 1º Ed. 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA – IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**. Rio de Janeiro. IBGE. 1º Ed. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **População Estimada**. 2021. Disponível em: www.cidades.ibge.gov. Acesso em: 25 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Câmeras Imageadoras CBERS 04A**. 2021. Disponível em: < <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers04a.php>>. Acesso em: 08 ago. 2021.

Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). **Pronasolos**. 2020. Disponível em: <<https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>> Acesso em: 20 ago. 2021.

KARAN, S.S. et al. Identification of spatially distributed hotspots for soil loss and erosion potential in mining areas of Upper Damodar Basin–India. **Catena**, v. 182, p. 1 – 9, 2019.

- KRUK, E. et al. 2020. Influence of DEM Elaboration Methods on the USLE Model Topographical Factor Parameter on Steep Slopes. **Remote Sens**, v. 12, p. 1 – 20, 2020.
- LENSE, G.H.W. et al. Water erosion modeling by the Erosion Potential Method and the Revised Universal Soil Loss Equation: a comparative analysis. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, p. 1 – 11, 2020.
- LIMA, J. M. et al. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 85 – 90, 1990.
- 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, 15 dez. 2018.
- 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.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônômico. 1975. 12 p.
- MACEDO, R. R. et al. Sistema de informação geográfica (sig) aplicado a gestão de recursos naturais. Atlas do aproveitamento de água da chuva nas Ilhas de Belém – Iniciativas, demandas e potencialidades. **Geo UERJ**, n. 32, p. 1 – 38, 2018.
- MANAOUCH, M.; ZOUAGUI, A.; FENJIRO, I. A review of soil erosion modeling by R/USLE in Morocco: Achievements and limits. **E3S Web of Conferences**, v. 234, n. 67, p. 1 – 6, 2021.
- MANNINGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, p. 1335-1340, 2002.
- MARQUES, A. J.; GALO, M. L. B. D. Escala geográfica e escala cartográfica: distinção necessária. **Bol. geogr.**, v. 26/27, n. 1, p. 47-55, 2009.
- MARQUES, V. S. et al. USLE K-Factor Method Selection for a Tropical Catchment. **Sustainability**, v. 11, p. 1 – 17, 2019.
- MENGUE, V. et al. Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. **Pesquisas em Geociências**, v. 43, n.1, p. 41 – 53, 2016.
- MOHAMMED, S. et al. Estimation of soil erosion risk in southern part of Syria by using RUSLE integrating geo informatics approach. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 1 – 14, 2020.
- MOHAMMAD, B. et al. Identification of critical erosion prone areas in Temengor Reservoir Basin using Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographic Information System (GIS). **Earth Environ**, v. 380, p. 1 – 13, 2019.

MORAIS, R. C. S.; SALLES, 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.

MOURA, D. M. B.; OLIVEIRA, I. J. NASCIMENTO, D. T. F. 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, p. 865 – 889, 2020.

NACHTIGALL, S. D. et al. Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 25, n. 6, p. 933 - 946, 2020.

NEGESE, A. et al. Potential Soil Loss Estimation and Erosion-Prone Area Prioritization Using RUSLE, GIS, and Remote Sensing in Chereti Watershed, Northeastern Ethiopia. **Air, Soil and Water Research**, v. 14, p. 1-17, 2021.

NOBRE, A. et al. Height Above the Nearest Drain-age – a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, p. 13-29, 2011.

OLIVEIRA, I. J. Chapadões descerrados: relações entre vegetação, relevo e uso das terras em Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 311 – 336, 2014.

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**. Fortaleza: PRODEMA /UFC. 2017, 7 p.

OLIVEIRA, L. D. et al. Análise das relações entre aspectos físicos e qualidade hídrica da alta bacia hidrográfica do Ribeirão da Laje, no município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 2664 – 2884, 2021.

PANAGOS, P. et al. Rainfall Erosivity in Europe. **Science of The Total Environment**, v. 511, p. 801-814, 2015.

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

PEREIRA, M. A. S. et al. Caracterização ambiental do uso e ocupação do solo das áreas de influência em municípios da Rota de Integração Latino-Americana. **Revista Interações**, v. 20, n. 2, p. 255-266, 2019.

PEREIRA, M. D. R.; CABRAL, J. B. P. Perda de solo no alto curso das bacias hidrográficas dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçuzinho, Palmas (TO). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 332 – 339, 2021.

PINTO, G. S. et al. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 39, p. 62 – 71, 2020.

POLIDORO, J. C. et al. **Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos)**. 1. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2016. 53p.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 279p.

Equipe de Desenvolvimento QGIS (2020). Sistema de Informações Geográficas QGIS. **Projeto da Fundação Geoespacial de Código Aberto**. Http: // qgis. osgeo.org".

RENNÓ, C. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, 112: 3469-3481, 2008.

RODRIGUES, J. A. M. et al. Estimativa da vulnerabilidade de dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo – MG. **Geociências**, v. 36, n. 3, p. 531-542, 2017.

SÁ, L. N. et al. A Importância da cobertura vegetal no processo de erosão e degradação do solo no ensino da geografia. **International Journal Education and Teaching (PDVL)**, v. 3, n. 3, p. 173 – 188, 2020.

SCARPINELLA, G. D. et al. Estimativa da erosão em carreadores de cana-de-açúcar através da Equação Universal de Perdas de Solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 959 – 963, 2019.

SIEG. **Sistema Estadual de Geoinformação**. Disponível: <https://www.imb.go.gov.br/sieg>. Acesso: 03 ago. 2021.

SILVA, A. M. da. **Aplicações de técnicas de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica**. EESC/USP: Programa de pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (Tese de doutorado) 249p., 1999.

SILVA, M. S. **Sistemas de Informações Geográficas: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas**. UNESP: Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação (Dissertação) 167p., 2006.

SILVA, R. F.; SANTOS, V. A. Análise dos impactos ambientais da Urbanização sobre os recursos hídricos na sub-bacia do Córrego Vargem Grande em Montes Claros-MG. **Caderno de Geografia**, v.26, n.47, p. 966-976, 2016.

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, M. S. et al. Avaliação da cobertura do solo como indicador de gestão de recursos hídricos: um caso de estudo na sub-bacia do Córrego dos Bois, Minas Gerais. **Eng Sanit Ambient**, v.22, n. 3, p. 445-45, 2017a.

SILVA, A.C.A. et al.. Temporal analysis of the sustainability of the surroundings of the national Park of Chapada dos Veadeiros – Goiás. **Geoambiente On-line**. v. 37, p. 261 – 281, 2020.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. Instituto de Geografia. USP, São Paulo: Ed. Lunar, 1977.

SUJATHA, E.R., SRIDHAR, V. Mapping of erosion susceptibility using a weighted linear combination model: A case study of a hill sub-watershed in Kodaikkanal, Western Ghats, South India. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 34 – 45, 2019

SUPERINTENDÊNCIA DE GEOLOGIA E MINERAÇÃO – SGM DE GOIÁS. **Modelagem, alimentação e edição do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba**, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. EMBRAPA Solos, Brasília – DF: Ed. 3 ver. E amp., 2017.

TOLENTINO, A. H. A. et al. Perda de solo na bacia do rio São Lamberto com uso de séries temporais de imagens Landsat. **Agrarian**, v 13, n. 49, p. 362 – 376, 2020.

TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 5, p. 1918-1928, 2016.

TORCHETTO, N. L. et al. O uso do Quantum Gis (QGIS) para caracterização e delimitação de área degradada por atividade de mineração de basalto no município de Tentente Portela (RS). **REGET**, v. 18, n. 2, p. 719 – 726, 2014.

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). **Apostila de ArcGIS**. Laboratório de Topografia e Cartografia, 2021.

WANG, C. et al. Impacts of horizontal resolution and downscaling on the USLE LS factor for different terrains. **International Soil and Water Conservation**, v.8, n. 4, p. 363 – 372, 2020.

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

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia**, v. 7, n. 2, p. 195 – 201, 2017.