

ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA ENTRE OS ANOS DE 1998 E 2018, UTILIZANDO-SE DADOS DA LITERATURA CIENTÍFICA E DO PROJETO RADAM

Ana Laura Honório **Silva**¹, Hugo José **Ribeiro**², Katia Alcione **Kopp**³, Nilson Clementino **Ferreira**⁴

(1 – Universidade Federal de Goiás, analaura.honorio25@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1502-3622>, 2 – Universidade Federal de Goiás, hgribeirogeo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4650-1623>, 3 – Universidade Federal de Goiás, kakopp@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9569-9309>, 4 – Universidade Federal de Goiás, nclferreira@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8460-4052>)

Resumo: A perda de solo é uma problemática ambiental de grande preocupação, pois afeta todos de forma direta, causando prejuízos não somente ambientais, mas também econômicos. Para quantificar essa perda de solo, surgem modelos de predição, sendo um deles a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Utilizando-se Goiânia como objeto de estudo, pretende-se verificar a perda de solo para o município durante 21 anos, a partir do fator K obtido de duas formas diferentes: dos dados bibliográficos e do projeto RADAM. Dados das plataformas Giovanni Nasa, Topodata/INPE e MapBiomas foram utilizados para a obtenção dos fatores R, LS e CP, respectivamente. A partir dos fatores R, LS, CP e K, foi possível realizar a álgebra de mapas e comparar os resultados de cada ano, utilizando-se as formas distintas de K. Constatou-se que a maioria da área do município é de baixa vulnerabilidade, independente do método utilizado para o fator K. No entanto, os resultados para dados da literatura são superestimados, apresentando áreas com perda de solo extremamente elevadas, não sendo possível observar isso em dados do RADAM, que são obtidos por satélite.

Palavras-chave: Perda de solo. Fator K. RADAM.

ESTIMATE OF SOIL LOSS IN THE MUNICIPALITY OF GOIÂNIA BETWEEN 1998 AND 2018, USING DATA FROM SCIENTIFIC LITERATURE AND RADAM PROJECT

Abstract: Soil loss is an environmental issue of great concern, as it directly affects everyone, causing not only environmental damages, but also economic ones. To quantify this soil loss, prediction models emerge, one of which is the Universal Soil Loss Equation (EUPS). Using Goiânia as an object of study, it is intended to verify the loss of soil for the city during 21 years, from the K factor obtained in two different ways: from bibliographic data and from the RADAM project. Data from the Giovanni Nasa, Topodate/INPE and MapBiomias platforms were used to obtain the R, LS and CP factors, respectively. From the factors R, LS, CP and K, it was possible to perform the algebra of maps and compare the results of each year, using the different forms of K. It was found that most of the municipality's area is of low vulnerability, regardless of the method used for the K factor. However, the results for data in the literature are overestimated, showing areas with extremely high soil loss, and this is not possible to be observed in RADAM data, which are obtained by satellite.

Keywords: Soil loss. K-Factor. RADAM.

ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE GOIÂNIA ENTRE 1998 Y 2018, UTILIZANDO DATOS DE LA LITERATURA CIENTÍFICA Y EL PROYECTO RADAM

Resumen: La pérdida de suelo es un problema ambiental de gran preocupación, ya que afecta directamente a todos, causando no solo daño ambiental, sino también económico. Para cuantificar esta pérdida de suelo, surgen modelos de predicción, uno de los cuales es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Utilizando Goiânia como objeto de estudio, se pretende verificar la pérdida de suelo de la ciudad durante 21 años, a partir del factor K obtenido de dos formas distintas: a partir de datos bibliográficos y del proyecto RADAM. Se utilizaron datos de las plataformas Giovanni Nasa, Topodata/INPE y MapBiomias para obtener los factores R, LS y CP, respectivamente. A partir de los factores R, LS, CP y K, fue posible realizar el álgebra de mapas y comparar los resultados de cada año, utilizando las diferentes formas de K. Se encontró que la mayor parte del área del municipio es de baja vulnerabilidad, independientemente del método utilizado para el factor K. Sin embargo, los resultados para los datos en la literatura están sobreestimados, mostrando áreas con una pérdida de suelo extremadamente alta, lo que no es posible observar en los datos RADAM, que se obtienen por satélite.

Palabras clave: Factor K. Pérdida de suelo. RADAM.

1. Introdução

Segundo Eduardo *et al.* (2013), a degradação dos solos é uma problemática que influencia todo o mundo e constitui um fenômeno de grande importância, devido à rapidez com que se processa e pelo fato de trazer grandes prejuízos para o meio ambiente e para a economia. A gravidade da erosão varia ao longo do tempo e depende das combinações das ações do clima, do escoamento superficial, da composição do solo, topografia, cobertura vegetal, do manejo do solo e das práticas de conservação (MONTENEGRO *et al.*, 2013 *apud* MARTINS *et al.*, 2017).

A cada ano a superfície da terra perde cerca de 0,90 a 0,95 mm de solo, pois as taxas médias mundiais de erosão do solo são estimadas entre 12 e 15 t ha⁻¹ ano⁻¹ (PHAM; DEGENER; KAPPAS, 2018). Os principais causadores da erosão do solo são o vento e principalmente a água, e, conforme Lal (2001), existem 1.094 milhões de hectares afetados em todo o mundo pela erosão do solo por causa da água, enquanto 548 milhões de hectares são afetados pelo vento.

O estado de Goiás está inserido no bioma Cerrado, que possui características naturais importantes, como uma rica biodiversidade e disponibilidade de recursos hídricos e de solo (VILELLA, 2016). Entretanto, por meio do uso intensivo da terra no estado para a agricultura e a pecuária, que foi feito desordenadamente e sem preocupação com o meio ambiente, diversos impactos ambientais decorrentes destas atividades surgiram, como: compactação, impermeabilização, empobrecimento dos solos, aparecimento de processos erosivos, arenização e desertificação (FAO, 2006). Goiânia possui outro fator que contribuiu para a perda de solo: o intenso processo de urbanização da cidade, que também acarreta a diminuição da infiltração, e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial.

Na tentativa de quantificar a perda de solo, surgiram diversos modelos de predição, como a *Universal Soil Loss Equation* (USLE), a *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) e o *Water Erosion Prediction Project* (WEPP). O WEPP é um modelo dinâmico de simulação que necessita de muitos dados de entrada e, por esse motivo, se torna muitas vezes limitado pela dificuldade de se obter os dados de entrada necessários para sua aplicação. A RUSLE é uma revisão da USLE, sendo bastante utilizada quando se trabalha com grandes áreas, como biomas (WANG *et al.*, 2008).

A USLE foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), na Universidade de Purdue (EUA). Este modelo teve origem na perspectiva de estimar as perdas médias anuais de solo por unidade de área em relação à erosão laminar – quando o escoamento superficial das águas das

chuvas retira a cobertura superficial do solo, desgastando-o. A aplicação desse modelo é feita pela multiplicação de cinco fatores, através da Equação 1:

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

O A é a perda média anual do solo ($\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), R é o fator de erosividade da chuva ($\text{MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), K é o fator erodibilidade do solo ($\text{ton.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$), LS é o fator topográfico que conjuga o comprimento da encosta (L) e o declive (S), C é o fator uso e manejo do solo, e P é o fator práticas conservacionistas.

Atrelado à USLE, podem-se utilizar os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem a discriminação das paisagens através de modelagens. OS SIG são ferramentas essenciais na modelagem porque apresentam a capacidade de integração de dados complexos, capacidade de integração de informações geográficas e capacidade de gerar os resultados em mapas (MITASOVA *et al.*, 1997 *apud* CÔRREA, 2018).

Considerando-se os aspectos discorridos, objetivou-se, neste artigo, estimar a perda de solo anual da cidade de Goiânia entre os anos de 1998 e 2018, aplicando-se a USLE por meio de um SIG. Além disso, compararam-se os valores obtidos para a perda de solo no município de Goiânia em cada ano, uma vez que os valores de erodibilidade (K) foram obtidos por dois métodos: dados bibliográficos e projeto RadamBrasil.

2. Metodologia

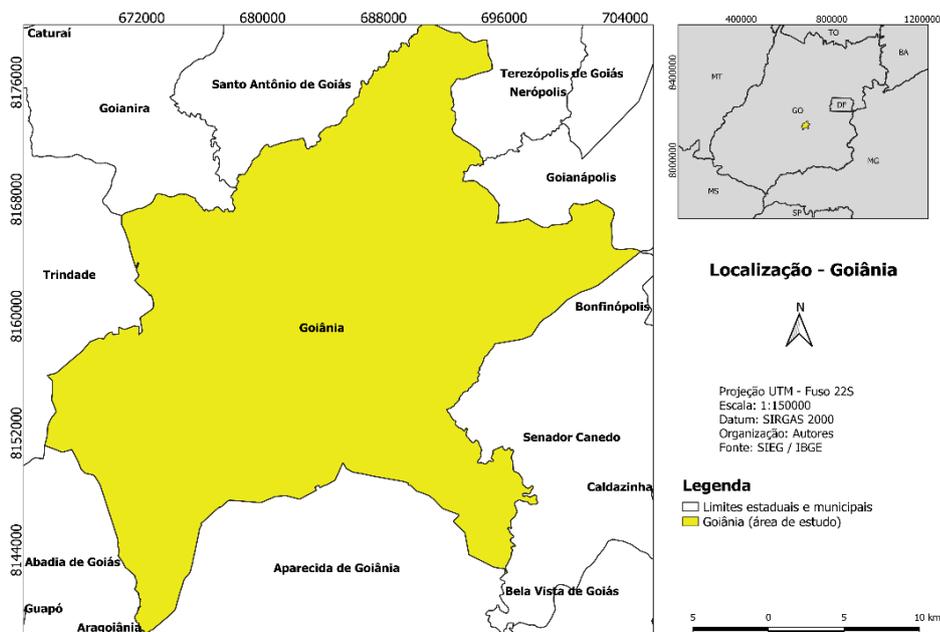
2.1 Descrição da área do estudo

O município de Goiânia localiza-se na região central de Goiás (Figura 1) e está entre as coordenadas UTM E = 686.626,8998m e N = 8.156.495,4047m, Fuso 22. A cidade se encontra inserida em uma região de dobramentos, e o relevo do local é composto por planaltos com pequenos declives. A Agência Municipal de Meio Ambiente (AMMA) cataloga 85 mananciais na cidade, sendo dois deles rios, o Rio Meia Ponte e o Rio Dourados, três ribeirões e 80 córregos (AMMA, 2021).

A cidade de Goiânia ocupa uma área de 728.841 km^2 , onde residem 1.536.097 habitantes que representam 21,6% da população goiana (IBGE, 2020). Os solos predominantes da região são argissolos, cambissolos, gleissolos e latossolos (SIEG, 2005). Goiânia possui duas estações bem definidas, uma chuvosa (outubro a abril) e outra seca (maio a setembro), sendo que, nos meses de dezembro, janeiro e março, a média de precipitação é de

265 mm e, nos meses de junho e julho, período de maior seca, a média de precipitação chega a 6 mm (INMET, 2021).

Figura 1 - Localização do município de Goiânia, GO.



Fonte: elaborada pelos autores (2021).

Goiânia apresenta uma grande área antropizada, com enormes áreas urbanizadas e de pastagem. Poucas destas ainda têm alguma forma de vegetação, como os parques e os remanescentes isolados de mata ciliar. Verificou-se essa situação durante todo o período do estudo – 1998 a 2018 – quando a área urbana aumentou e a dos remanescentes de vegetação diminuiu (Figura 2).

$$R = \sum_{i=1}^{12} El_i \quad (3)$$

onde:

El = média mensal do índice de erosividade (MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹);

p = média do total mensal de precipitação (mm);

P = total anual de precipitação média (mm), e

R = erosividade (MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹).

Quadro 1 - Classificação de classes de erosão.

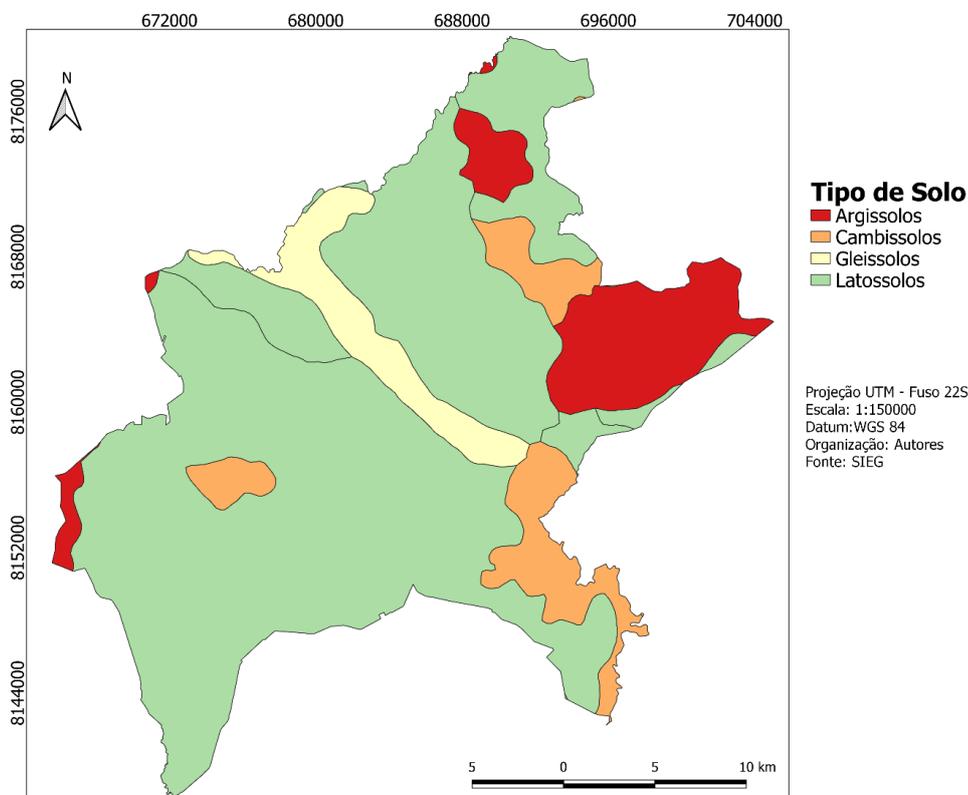
Erosividade (MJ.mm.h ⁻¹ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classes de interpretação
$R \leq 2452$	Erosividade fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008).

Goiânia tem quatro tipos de solo: argissolos, cambissolos, gleissolos e latossolos (Figura 3). Essa classificação dos tipos de solo do município será utilizada na determinação do fator erodibilidade, a partir dos dados bibliográficos. O mapa de solos está disponível no site do Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG) (<http://www.sieg.go.gov.br>).

Os valores de erodibilidade (K) foram obtidos de duas formas distintas. A primeira forma foi por uma compilação de dados da literatura, em que foi realizada uma média aritmética a partir dos valores obtidos (Tabela 1) para cada tipo de solo, que foram observados na Figura 3.

Figura 3 - Solo de Goiânia.



Fonte: elaborada pelos autores (2021).

Tabela 1 - Valores de K conforme a literatura.

Autores	Argissolo	Cambissolo	Gleissolo	Latossolo
Silva e Alvares (2005)	0,0425	0,0508	0,0361	0,0162
Baptista (1997)	0,0330	0,0240	0,0580	0,0150
Prado e Nobrega (2005)	0,0232	-	0,0397	0,0132
Wischmeier (1971)	0,0420	0,0240	-	0,0200
Denardin (1990)	0,0050	0,0080	-	0,0020
Chaves (1994)	0,0290	0,0600	-	0,0200
PCBAP (1997) *	-	0,0561	0,0479	0,0163
Fiorio (1998) *	-	-	0,0580	-
Ranieri (2000) *	-	0,0250	-	-
Moretti *	0,0346	-	-	0,0178
Média	0,0299	0,0354	0,0479	0,0151

Fonte: elaborado pelos autores conforme dados retirados da literatura (GÓMEZ, 2012).

A segunda forma utilizada para se obter o fator K foi através de dados *raster* disponibilizados pelo projeto RadamBrasil, em que há a porcentagem de argila, silte e areia em 0,15 m de profundidade em todo o município de Goiânia. A partir desses dados é possível aplicar a expressão de Bouyoucos (1935) (Equação 4) e obter outro valor para K,

$$K = \frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{\% \text{ argila}} \times \frac{1}{100} \quad (4)$$

onde K representa o fator erodibilidade do solo (ton.h.MJ⁻¹.mm⁻¹).

O fator K pode ser classificado conforme o Quadro 2, em que são definidas três classes variando de baixa a alta. Essa classificação foi proposta por Carvalho (2008).

Quadro 2 - Classificação da erodibilidade.

Fator K (ton.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Classes de interpretação
< 0,0198	Baixa
0,0198 a 0,040	Média
> 0,040	Alta

Fonte: Carvalho (2008).

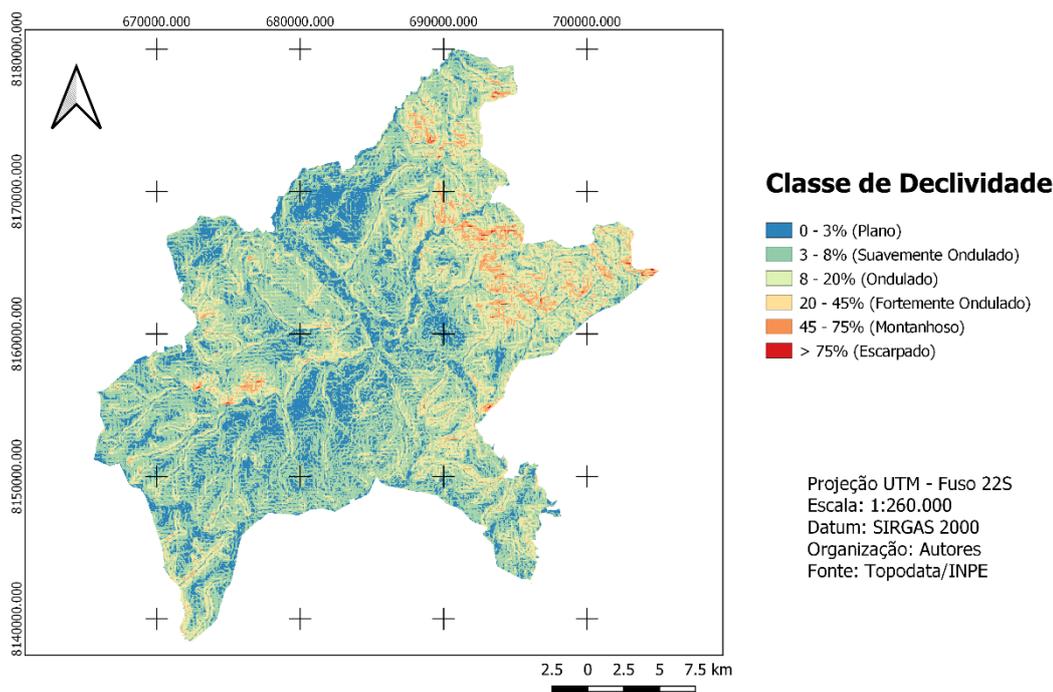
O fator topográfico (LS) foi determinado a partir do processamento dos dados altimétricos obtidos junto ao projeto TOPODATA/INPE, por meio do algoritmo *r.watershed*, que calcula automaticamente esse fator. Sua análise foi feita de forma integrada com a declividade do município de Goiânia (Figura 4), obtida também a partir do processamento de dados altimétricos do projeto TOPODATA/INPE.

Para determinação do uso e da ocupação do solo, usaram-se os mapas de uso e cobertura do solo disponibilizados pelo projeto MapBiomas. Esses mapas estão disponíveis gratuitamente no site do projeto (<https://mapbiomas.org/>). Além dos mapas, o projeto também disponibiliza a legenda de cada classe de uso e ocupação do solo, de acordo com o valor observado nos dados *raster*.

Os valores de CP foram utilizados em conjunto, sendo C relacionado à cobertura e ao manejo do solo, com os valores adotados de Baptista (2003). Para o fator P foi adotado o valor 1, pois significa que a situação referente às práticas conservacionistas é a pior possível, ou seja, tende a se tornar mais crítica na questão dos processos erosivos (PEREIRA *et al.*, 2015).

A partir da interpretação visual do mapa de uso e cobertura foi possível correlacionar os valores das classes definidas pelo MapBiomass, com os valores pré-determinados na metodologia adotada por Baptista (2003) (Quadro 3).

Figura 4 - Declividade de Goiânia.



Fonte: elaborada pelos autores (2021).

Quadro 3 - Valores de CP para classes de uso e ocupação do solo.

Uso e ocupação do solo	CP	Código MapBiomass
Espaço urbano consolidado	0	24, 25
Agricultura	0,12	20, 39, 41
Pastagem	0,055	15
Cerrado	0,0007	4, 12
Floresta Estacional	0,00004	3, 9
Corpos d'água	0	33

Fonte: Baptista (2003), adaptado.

Cada um dos fatores calculados (R, K, LS e CP) resultou em um *raster* com resolução espacial de 30 metros. Em seguida, realizou-se a multiplicação de todos os termos da USLE, obtendo como resultado dois *raster* de perda de solo para a cidade de Goiânia em cada ano

analisado. O primeiro utilizou o K, obtido pelo método 1, e o segundo pelo método 2. Os resultados foram classificados e interpretados conforme a classificação proposta por Beskow *et al.* (2009) (Quadro 4).

Quadro 4 - Classificação de classes de erosão.

Perda de solo (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classes de interpretação
0 – 2,5	Ligeira
2,5 – 5,0	Ligeira a moderada
5,0 – 10,0	Moderada
10,0 – 15,0	Moderada a alta
15,0 – 25,0	Alta
25,0 – 100,0	Muito alta
> 100,0	Extremamente alta

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

3. Resultados e Discussão

3.1 Fator Erosividade das Chuvas – R

Os resultados médios obtidos para o fator erosividade (R), a partir da equação adaptada para o estado de Goiás, por Nascimento (1998), variam de 7.390,6 a 10.419,2 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹ no período de 1998 a 2018, de acordo com a Tabela 2. Segundo Cogo (1998), os valores para a erosividade no Brasil devem estar na faixa de 5.000 a 12.000 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹, e os valores encontrados estão dentro desta.

Os valores encontrados neste estudo são condizentes com os encontrados por Andrade *et al.* (2020), Pereira *et al.* (2015) e Lima *et al.* (2018), em que os valores giram em torno de 7.000 a 11.000 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo todos esses estudos realizados no estado de Goiás. O estudo feito em Goiânia por Silva *et al.* (1997) obteve o valor de 8.353 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹ de erosividade média anual e 8.753,1 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹, valores bem próximos e que demonstram a confiabilidade dos dados utilizados. De forma geral, a erosividade em Goiânia pode ser classificada como forte, de acordo com a classificação proposta por Carvalho (2008).

Observando-se os dados da precipitação, nota-se que a maior média do índice de erosividade 10.419,2 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹ foi no ano de 2005, mesmo ano em que houve a

maior média de precipitação. Em geral, as menores médias são encontradas em anos com menores precipitações, como, por exemplo, em 2003.

Tabela 2 - Valores anuais do fator de erosividade e precipitação.

Ano	Fator R (MJ.mm.h ⁻¹ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)			Precipitação anual (mm)		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
1998	8118,0	8270,4	8330,0	605,7	1146,8	1514,2
1999	7814,0	7923,6	7953,0	655,6	1291,8	1981,6
2000	9593,0	9914,2	10104,0	831,7	1470,9	2560,8
2001	8591,0	8747,4	8888,0	321,6	1087,3	1905,8
2002	8091,0	8480,4	8616,0	664,4	1163,8	1780,7
2003	7264,0	7390,6	7766,0	424,9	1075,9	1813,2
2004	9272,0	9323,1	9608,0	709,1	1445,7	2085,7
2005	9571,0	10419,2	10705,0	810,9	1475,1	2294,1
2006	9147,0	9522,4	10035,0	776,4	1456,6	2138,4
2007	7555,0	7733,2	8033,0	437,9	965,0	1793,5
2008	9643,0	10007,3	10646,0	521,3	1362,3	2175,7
2009	9368,0	9492,0	9685,0	654,8	1439,7	2332,9
2010	7720,0	7949,3	8104,0	624,6	1189,0	1807,4
2011	9512,0	10202,1	10384,0	497,6	1393,9	2291,0
2012	8986,0	9241,8	9336,0	221,4	1006,3	1722,7
2013	8381,0	8650,6	9071,0	575,0	1396,8	2340,9
2014	8333,0	8539,4	8751,0	447,3	1106,2	2077,9
2015	7560,0	7811,6	8093,0	318,3	956,7	1621,7
2016	8553,0	8799,6	9079,0	559,9	1129,7	2006,6
2017	7506,0	7823,9	7982,0	340,7	1058,6	2028,9
2018	7336,0	7572,9	7724,0	517,6	1259,9	1914,5
MÉDIA		8753,1			1232,3	

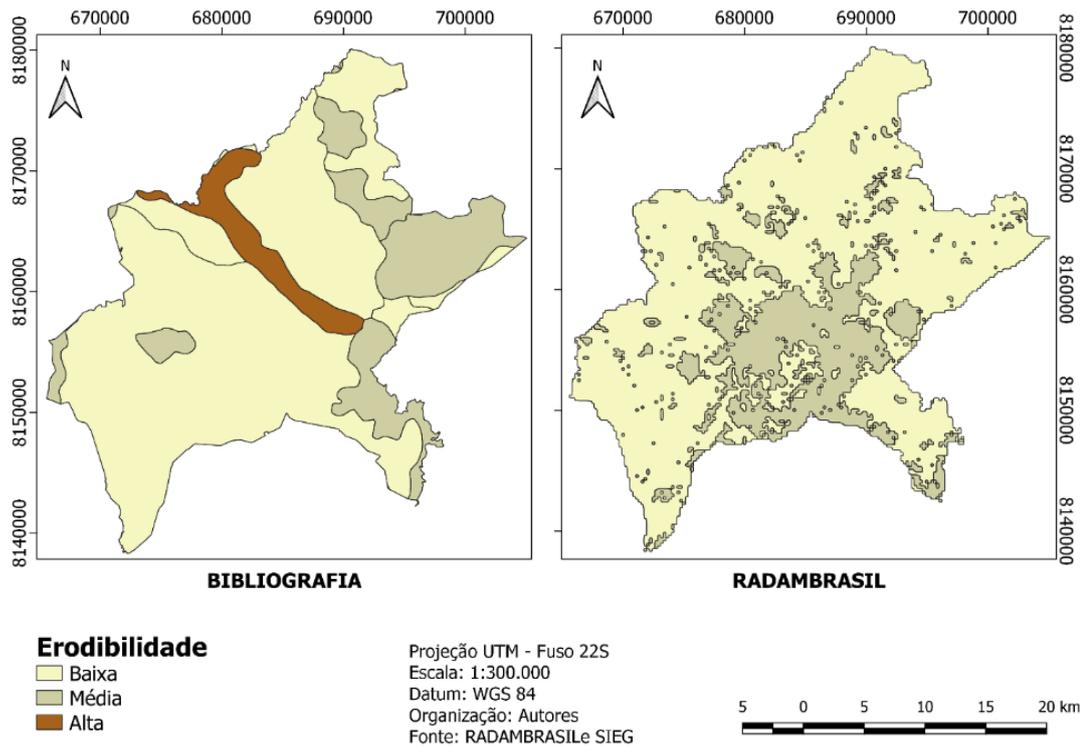
Fonte: elaborada pelos autores (2021).

3.2 Fator Erodibilidade do Solo – K

Os valores do índice de erodibilidade ou fator K encontrados a partir de dados na literatura variam de 0,0159 a 0,0479 ton.h.MJ⁻¹.mm⁻¹. Esses dados foram analisados conforme a classificação de erodibilidade (Figura 5). A maior parte do município de Goiânia – cerca de 74% – está em áreas consideradas de baixa erodibilidade, seguido de 17% de áreas com média erodibilidade e 9% de áreas com alta erodibilidade. O índice de erodibilidade calculado de acordo com dados do projeto RADAM também pode ser observado na Figura 3. É possível

perceber que sua maior área é composta de erodibilidade classificada como baixa (76%), seguido de média (24%). Áreas com erodibilidade elevada não foram encontradas.

Figura 5 - Fator K.

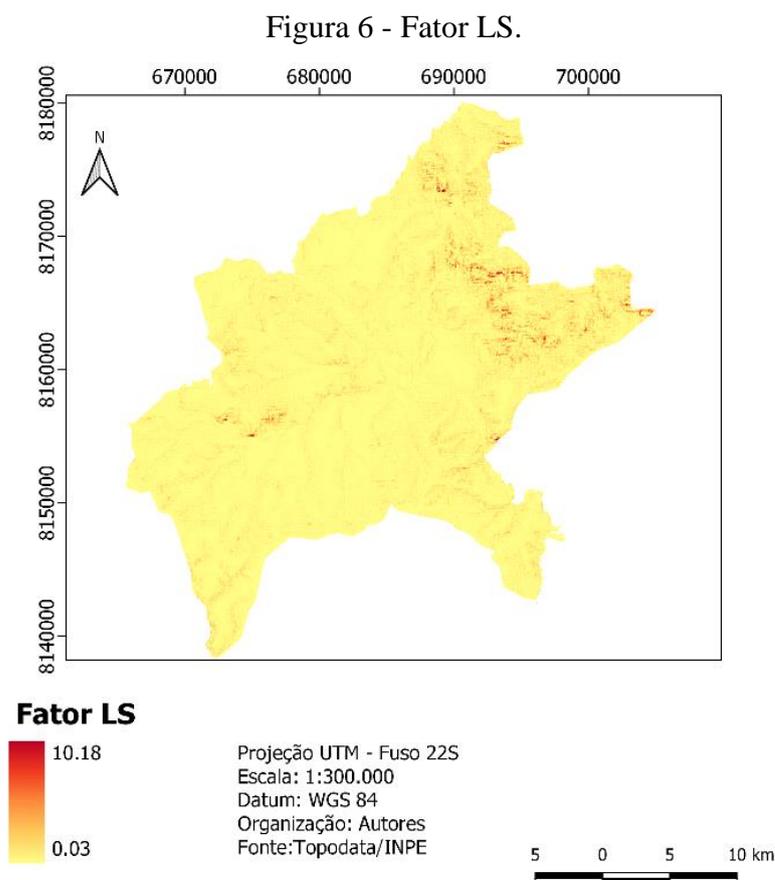


Fonte: elaborada pelos autores (2021).

Ambos os resultados encontrados são bem próximos, tendo uma diferença no que diz respeito a áreas com alta erodibilidade. Esses resultados também condizem com os de outros estudos, como o de Lima *et al.* (2018), em que foi analisada a região metropolitana da cidade de Goiânia. Na área do município de Goiânia, há uma maior ocorrência de latossolos, tipo de solo muito profundo, com argila de baixa atividade, poroso e com boa estrutura. Por esse motivo, tende a apresentar um baixo valor de erodibilidade. Ao comparar os resultados apresentados na Figura 4 com os tipos de solo mostrados na Figura 3, infere-se que áreas que apresentam gleissolos tendem a ter uma maior erodibilidade. Isso ocorre porque esses solos são característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento, tendo uma má condição de drenagem e, conseqüentemente, uma maior erodibilidade (IBGE, 2015).

3.3 Fator Topográfico – LS

O fator topográfico ou fator LS (Figura 6) mostra as relações do relevo no processo de perda de solo. Os valores encontrados variam de 0.03 a 10.18, sendo que a média foi de 0.42, todos valores muito baixos. A análise desse fator pode ser feita a partir da declividade do município (Figura 4), em que é observado um relevo predominantemente plano e suavemente ondulado.



Fonte: elaborada pelos autores (2021).

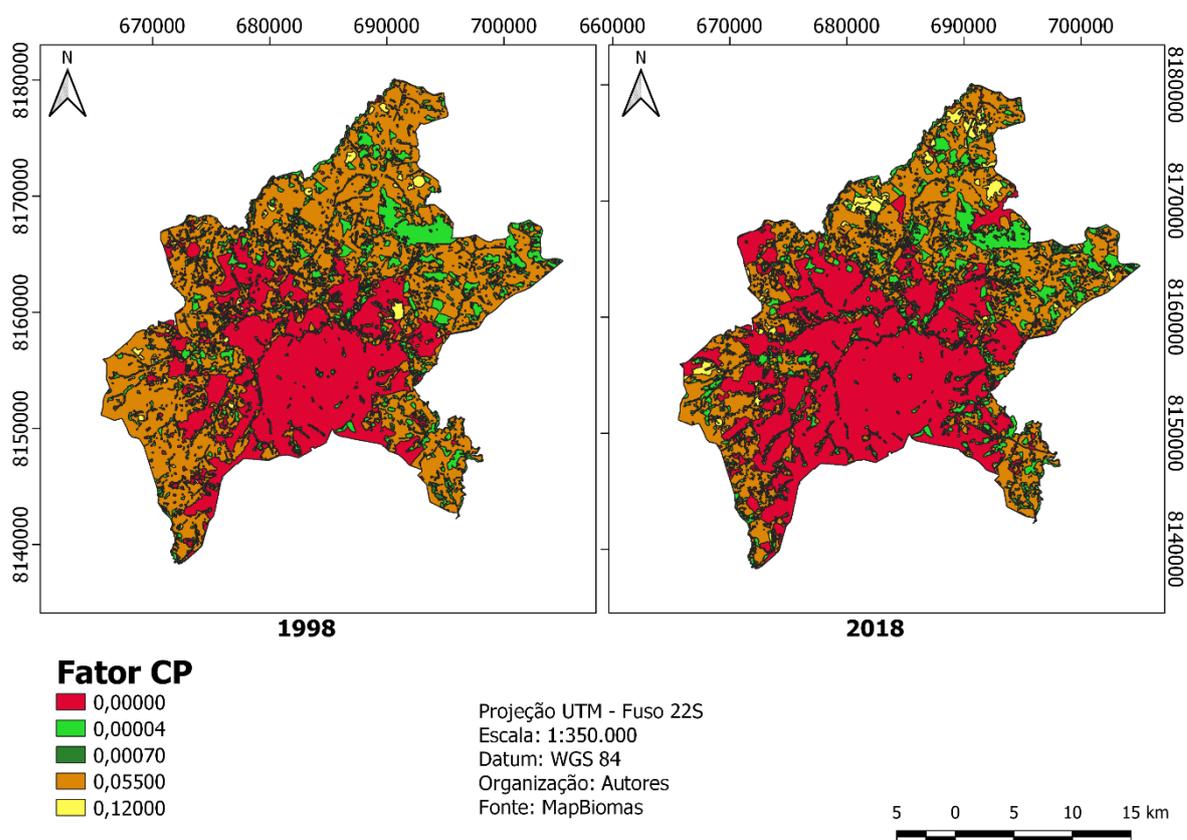
Segundo Nunes (2020), o fator topográfico é extremamente importante, pois caracteriza a velocidade de escoamento superficial da água e de materiais sedimentados e aumenta a infiltração da água no solo. Desta forma, relevos planos são mais favoráveis à conservação do solo.

Associando-se os resultados obtidos para o fator LS com os obtidos para o fator K, percebe-se que regiões com maior erodibilidade também possuem maior declividade em relação ao relevo.

3.4 Fator Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas do Solo – CP

O fator CP representa como se dá a ocupação da área em relação ao uso do solo. A Figura 7 compara os resultados obtidos para esse fator nos anos de 1998 e 2018. A partir desta é possível observar que áreas com o fator CP igual a 0 tiveram uma expansão, concluindo-se que as áreas urbanas de Goiânia aumentaram.

Figura 7 - Fator CP.



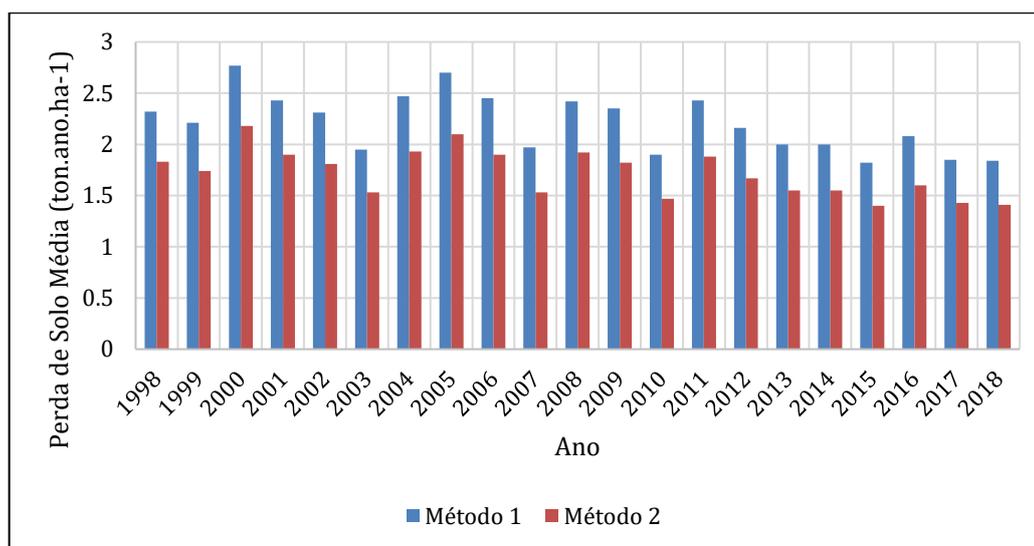
Fonte: elaborada pelos autores (2021).

Lima (2018) afirma que os maiores valores do fator CP são associados às áreas que foram convertidas em agrícolas e que estão mais predispostas a ter uma perda maior de sedimentos. Nessas regiões de Goiânia, as atividades de agricultura e pastagem ocorreram devido à mudança significativa na proteção do solo. Isso releva a importância de se adotar manejo apropriado para cada caso específico, a fim de se reduzir as taxas de erosão.

3.5 Estimativa de Perda de Solo – Fator A

Os resultados finais obtidos a partir da aplicação da EUPS nos *raster* podem ser visualizados no Gráfico 1, em que é demonstrada a estimativa da perda de solo média para o município de Goiânia entre os anos de 1998 e 2018. Os valores encontrados na bibliografia para o fator K (método 1) elevaram a perda de solo no município na faixa de 0,5 ton.ha⁻¹.ano. Isso se deve ao fato de que, com esses dados, se consegue somente uma análise geral para o tipo de solo. Já os dados de imagem de satélite (método 2) podem ser mais precisos, pois analisam cada pixel em relação aos constituintes do solo. Outro fato que pode ser analisado é que os anos com maiores perdas médias de solo são justamente os anos com fatores de erosividade e precipitação maiores.

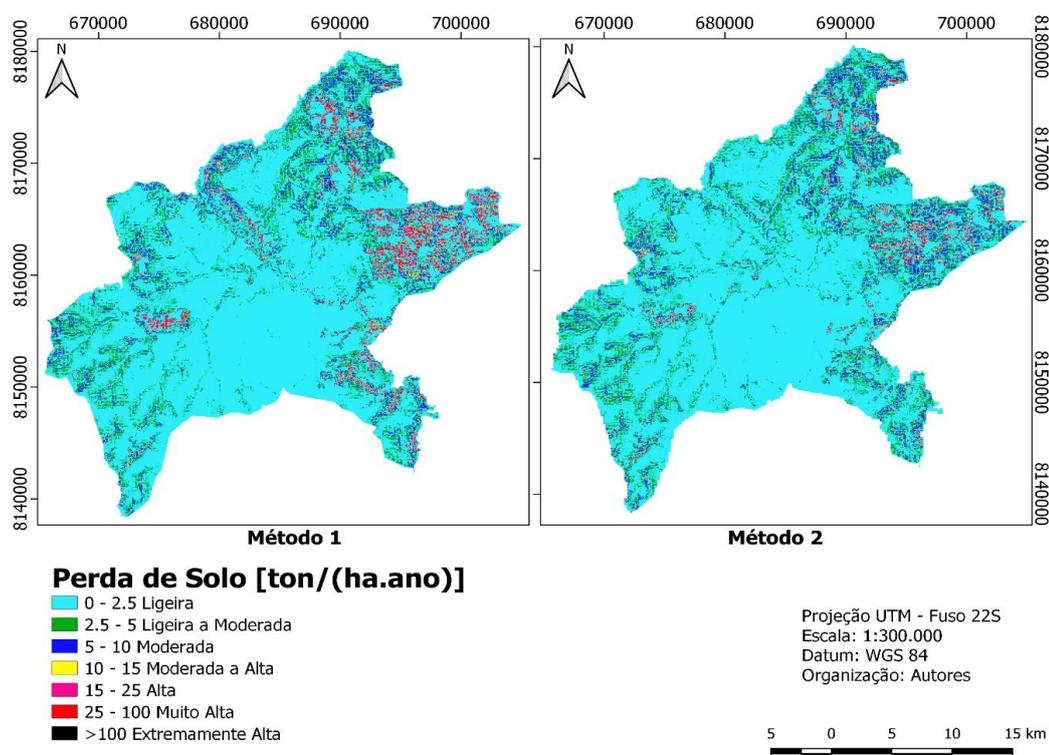
Gráfico 1 - Comparação da estimativa de perda de solo no município de Goiânia entre 1998 e 2018.



Fonte: elaborado pelos autores (2021).

Na Figura 8 verifica-se a perda média de solo entre os anos de 1998 e 2018, sendo o método 1 relacionado ao fator K da bibliografia, e o método 2 ao fator K calculado a partir de dados do projeto RadamBrasil. Nesta figura é possível perceber que a perda de solo calculada a partir do método 1 é superestimada conforme o que foi observado no Gráfico 1, pois há área com perda de solo extremamente alta, o que difere do observado no método 2.

Figura 8 - Perda média de solo entre 1998 e 2018.



Fonte: elaborada pelos autores (2021).

A Tabela 3 mostra a classificação de vulnerabilidade por área, relacionada aos resultados da Figura 7. Correlacionado a imagem e a tabela, verifica-se que mais de $\frac{3}{4}$ da área de Goiânia possui vulnerabilidade à perda de solo ligeira, sendo este resultado relacionado à grande urbanização na qual o município está submetido. Regiões com maiores classes de vulnerabilidade são bastante raras no município, tendo porcentagens sobre as áreas pequenas. Esses resultados encontrados também podem ser observados no Gráfico 1, em que a média de perda de solo anual é, com maior recorrência, menor que $2,5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Regiões que possuem classes de interpretação com maiores perdas de solo são as mesmas em que o fator topográfico e a erodibilidade são maiores, sendo locais com inexistência de latossolo. Segundo Pereira *et al.* (2015), os baixos valores de erosão para Goiânia estão relacionados à baixa declividade do município, que se encontra em uma região de planalto, e por uma grande parte do município ser impermeabilizada devido à grande concentração urbana.

Lima *et al.* (2018) notaram que locais com presença de cambissolo possuem os maiores valores de perda de solo, e isso se confirma ao se analisar regiões onde ocorrem as classes de interpretação muito altas e extremamente altas. Áreas em que a ocupação do solo se dá pela

pastagem ou pela agricultura também possuem maiores perdas de solo porque o fator K é maior nessas regiões, pois são mais suscetíveis à atividade erosiva devido à mudança ocasionada na proteção do solo.

Tabela 3 – Classificação da vulnerabilidade à erosão.

Perda de solo (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Vulnerabilidade	Método 1	Método 2
		Área (%)	Área (%)
0 – 2,5	Ligeira	75,399	76,053
2,5 – 5,0	Ligeira a moderada	12,111	13,454
5,0 – 10,0	Moderada	7,448	7,707
10,0 – 15,0	Moderada a alta	2,603	1,829
15,0 – 25,0	Alta	1,638	0,733
25,0 – 100,0	Muito alta	0,796	0,224
> 100,0	Extremamente alta	0,005	-

Fonte: elaborada pelos autores (2021).

Os resultados encontrados neste estudo corroboram os encontrados por Moura *et al.* (2017), em que se concluiu que áreas degradadas, solos expostos e áreas com maiores fatores topográficos estão diretamente relacionados com as maiores perdas de solo. Para a cidade de Goiânia, Lima *et al.* (2018) encontraram resultados bastante próximos no que tange aos fatores da USLE e ao seu resultado – a perda de solo para o município. De forma geral, Goiânia pode ser considerada de pequena fragilidade, apesar de sua grande expansão agrícola e da pecuária.

4. Considerações Finais

- O uso da USLE se mostrou bastante pertinente e viável ao longo do estudo, colaborando para a obtenção de resultados bastante significativos para o município de Goiânia. Arelada à USLE, a utilização de SIG se mostrou eficiente na integração dos dados para a caracterização e identificação da perda de solo, o que auxiliou no rápido tempo de execução do trabalho e na facilidade da obtenção dos dados necessários. Assim, entende-se que a metodologia aplicada na estimativa da perda de solo é válida, e os resultados obtidos coincidem com os de diversos autores.

- A cidade de Goiânia apresenta baixa vulnerabilidade em relação à perda de solo, com valores médios próximos de $2 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Entretanto, isso se deve ao fato de a grande impermeabilização que o município possui se tratar de um grande centro urbano e pela sua declividade não ser acentuada.
- Nesta pesquisa, a substituição da vegetação remanescente por pastagem ou agricultura representa um aumento na perda do solo, pois aumenta a exposição que o solo terá, contribuindo para o aumento da velocidade do escoamento superficial.
- A utilização do fator K, baseado em dados bibliográficos e dados de satélite, possibilitou resultados diferentes, sendo possível verificar que os dados bibliográficos tendem a superestimar a perda de solo.
- Quantificar a perda de solo é bastante importante, pois a formação deste é considerada um serviço ecossistêmico de suporte, e, para que se forme 1 cm de solo, se leva cerca de 100 a 400 anos. Neste contexto, a cada ano se perde uma quantidade de solo que demorou de nove a 38 anos para ser formada, influenciando de forma negativa a produção de alimentos.
- Espera-se que este estudo venha a contribuir para o desenvolvimento da capital de Goiás, ao determinar locais de maior suscetibilidade à erosão e que devem ter suas práticas conservacionistas repensadas e reforçadas, a fim de diminuir os danos sociais, ambientais e econômicos futuros.

5. Referências

AMMA – Agência Municipal do Meio Ambiente. (2021). *Mananciais*. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/html/amma/>.

ANDRADE, A. F., MACHADO, R. L., CORRECHEL, V., REZENDE, C. C., SOUZA, J. L. C., COSTA, F. R., & FERREIRA, E. A. (2020) Erosividade e padrões de precipitação pluvial para Aragarças -GO. *Brazilian Journal of Development*, 6(4), 2193-2195. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-384>.

BAPTISTA, G. M. M. (1997). *Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos por Meio do Geoprocessamento*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

BAPTISTA, G. M. M. (2003). *Diagnóstico ambiental de erosão laminar: modelo Geotecnológico e aplicação*. Brasília, DF: Universa.

- BESKOW, S., MELLO, C. R., NORTON, L. D., CURTI, N., VIOLA, M. R., & AVANZI, J. C. (2009). Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena*, 79(1), 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>.
- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia prática* (2a ed.) Rio de Janeiro, RJ: Interciência.
- CHAVES, H. M. L. (1994). *Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco: relatório final de consultoria* (Relatório final de consultoria), Brasília, DF, CODEVASF.
- COGO, N. P. (1998). Conceitos e princípios envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In *Anais Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. (p. 12). Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo.
- CÔRREA, V. R. (2018). *Estudo multitemporal da conservação do solo em áreas militares: bacia do rio preto – GO/DF/MG*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.
- DENARDIN, J. E. (1990). *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.
- EDUARDO, E. N., CARVALHO, D. F., MACHADO, R. L., SOARES, P. F. C., & ALMEIDA, W. S. (2013). Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(3), 796-803. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300026>.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. (1999). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Serviço de Produção de Informação.
- FAO. (2006). *Livestock's longshadow*. Rome: (FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FIORIO, P. R. (1998). *Avaliação cronológica do uso da terra e seu impacto no ambiente da microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da região de Piracicaba, SP*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- GÓMEZ, J. D. (2012). *Estimativa de erosão pela EUPS (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território brasileiro*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.
- IBGE. (2015). *Manual técnico de pedologia* (3a ed.). Rio de Janeiro, RJ: IBGE.
- IBGE. (2021). *Goiânia*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/goiania.html>.

- INMET. (2021). *Normais Climatológicas do Brasil*. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/normais-climatologicas>.
- LAL, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519-539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>.
- LIMA, G. S. A., FERREIRA, N. C., & FERREIRA, M. E. (2018). Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. *Revista Brasileira de Cartografia*, 70(4), 1510-1535. <https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46513>.
- MARTINS, C. S. R., SANTOS, A. M. M., COSTA, K. D. S., LIMA, R. S. R., PISCOYAL, V. C., CALADO, G. Q., NASCIMENTO, M. R., SANTOS, P. R., & CARVALHO, R. R. C. (2017). *Influência da vegetação na erosão hídrica em ambiente semiárido: uma revisão de literatura*. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_0718_0367_01.pdf.
- MOURA, M. M., FONTES, C. S., SANTOS, M. H., ARAUJO FILHO, R. N., HOLANDA, F. S. R. (2017). Estimativa da perda de solo no baixo São Francisco sergipano. *Revista Scientia Agraria*, 18(2), 126-135. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i2.50143>.
- NASCIMENTO, M. A. L. S. (1998). *Bacia do Rio João Leite: influência das condições ambientais naturais e antrópicas na perda de terra por erosão laminar*. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP, Brasil.
- NUNES, N. C. (2020). *Análise de espaço-temporal da erosão hídrica em bacias hidrográficas no sudeste de Goiás*. Dissertação de mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO, Brasil.
- PHAM, T. G., DEGENER, J., & KAPPAS, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>.
- PEREIRA, T. S. R., SANTOS, K. A., SILVA, B. F., & FORMIGA, K. T. M. (2015). Determinação e espacialização da perda de solo da bacia hidrográfica do córrego cascavel, Goiás. *Revista Geográfica Acadêmica*, 9(2), 76-93. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v9i2.3161>.
- PRADO, J. P. B., & NÓBREGA, M. T. (2005). Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da

Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). *Maringá*, 27(1), 33-42.

<https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v27i1.1496>.

SIEG – Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográficas de Goiás. (2005).

Determinação de áreas prioritárias para unidades de preservação. Disponível em:

<http://www.sieg.go.gov.br/>.

SILVA, A. M., & ALVESRES, C. A. (2005). Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. *Geociências*, 24(1), 33-41.

SILVA, M. L. N., FREITAS, P. L., BLANCANEUX, P., & CURI, N. (1997). Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 32(1), 977-985.

VILELLA, P. M. (2016). *Impactos Ambientais da Modernização Agropecuária em Goiás*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.

WANG, G., HAPUARACHCHI, P., ISHIDAIRA, H., KIEM, A.S., & TAKEUCHI, K. (2008). Estimation of soil erosion and sediment yield during individual rainstorms at catchment scale. *Water Resources Management*, 23(8), 1447-1465. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9335-8>.

WISCHMEIER, W. H., JOHNSON, C. B., & CROSS, B. V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Jour. Soil. Wat. Conserv.*, 26(1), 189-193. ISSN 1941-3300.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, DC: USDA.