

## Vulnerabilidade ambiental e a potencialidade à perda de solos no entorno de atrativos turísticos em paisagens do Cerrado, na bacia hidrográfica do rio Caiapó, Caiapônia (GO) – Brasil

*Vulnerabilidad ambiental y potencial de pérdida de suelo alrededor de atractivos turísticos en paisajes del Cerrado, en la cuenca del río Caiapó, Caiapônia (GO) - Brasil*


**Raiany Cristina Ribeiro Santos**

Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Brasil  
raianysantos@discente.ufg.br

 ORCID: 0000-0001-9799-6577


**Amiel Araujo Soares Santos**

Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Brasil  
amielarajujo@discente.ufg.br

 ORCID: 0000-0001-7226-8565

**Patrícia de Araújo Romão**

Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Brasil  
patricia\_romao@ufg.br

 ORCID: 0000-0002-3607-4373

**Ivanilton José de Oliveira**

Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Brasil  
oliveira@ufg.br

 ORCID: 0000-0002-2718-6947

### Información del artículo

**Recibido:** 29/09/2022

**Revisado:** 05/07/2023

**Aceptado:** 14/07/2023

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/at.23.7325

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).  
Seminarío Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

### RESUMO

A alta bacia do rio Caiapó, localizada no bioma Cerrado, é marcada pela existência de processos erosivos hídricos que modificam substancialmente a paisagem, e alterada por intensa fragmentação da vegetação natural, devido à expansão agropecuária. Em função desse contexto, o objetivo do estudo foi investigar a vulnerabilidade ambiental e a potencialidade à perda de solos na alta bacia do rio Caiapó, no sudoeste do estado de Goiás, Brasil, incluindo o entorno de nove atrativos turísticos. Foram aplicadas as metodologias de Salomão et al. (2012), para avaliação da potencialidade à erosão laminar, e de Crepani et al. (2001), para análise da vulnerabilidade ambiental à perda de solos. Os resultados mostraram a maior parte da área composta por pastagens, associadas à extrema suscetibilidade à erosão, em coincidência espacial com a classe vulnerabilidade ambiental “Medianamente Estável/Vulnerável”, com mais de 70% de ocorrência. Isso demonstra a importância de conservação dos remanescentes localizados no entorno dos atrativos turísticos analisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Paisagem, Processos erosivos hídricos, Turismo, Análise ambiental.

### RESUMEN

La cuenca alta del río Caiapó, ubicada en el bioma Cerrado, está marcada por la existencia de procesos erosivos hídricos que modifican sustancialmente el paisaje, y está alterada por la intensa fragmentación de la vegetación natural, producto de la expansión agrícola. Con base en este contexto, el objetivo del estudio fue investigar la vulnerabilidad ambiental y el potencial de pérdida de suelo en la cuenca alta del río Caiapó, en el sudoeste del estado de Goiás, Brasil, incluyendo los alrededores de nueve atractivos turísticos. Aplicamos las metodologías de Salomão et al. (2012), para evaluar la potencialidad a la erosión laminar, y de Crepani et al. (2001), para analizar la vulnerabilidad ambiental a la pérdida de suelo. Los resultados mostraron que la mayor parte del área estaba compuesta por pastizales, asociados a extrema susceptibilidad a la erosión, en coincidencia espacial con la clase de vulnerabilidad ambiental “Medio estable/vulnerable”, con más del 70% de ocurrencia. Esto demuestra la importancia de la conservación de los remanentes ubicados alrededor de los atractivos turísticos analizados.

**PALABRAS CLAVE:** Paisaje, Procesos de erosión hídrica, Turismo, Análisis medioambiental.

## ***Environmental vulnerability and the potential for soil loss around tourist attractions in Cerrado landscapes, in the Caiapó river basin, Caiapônia (GO) - Brazil***

### **ABSTRACT**

The upper basin of the Caiapó river, located in the Cerrado biome, is marked by the existence of water erosive processes that substantially modify the landscape, and it is altered by intense fragmentation of the natural vegetation, due to the agricultural expansion. Based on this context, the objective of the study was to investigate the environmental vulnerability and the potential for soil loss in the upper Caiapó river basin, in the southwest of the state of Goiás, Brazil, including the surroundings of nine tourist attractions. The methodologies of Salomão et al. (2012), to assess the potential for laminar erosion, and Crepani et al. (2001), for analysis of environmental vulnerability to soil loss, were applied. The results showed that most of the area was made up of pastures, associated with extreme susceptibility to erosion, in spatial coincidence with the "Mediumly Stable/Vulnerable" environmental vulnerability class, with more than 70% of occurrence. This demonstrates the importance of conservation of remnants located around the analyzed tourist attractions.

**KEYWORDS:** Landscape, Hydric erosive processes, Tourism, Environmental analysis.

## ***Vulnérabilité environnementale et perte potentielle de sol dans les environs des attractions touristiques dans les paysages du Cerrado, dans le bassin du fleuve Caiapó, Caiapônia (GO) - Brésil***

### **RÉSUMÉ**

Le bassin supérieur du fleuve Caiapó, situé dans le biome du Cerrado, est marqué par l'existence de processus érosifs hydriques qui modifient considérablement le paysage et est altéré par l'intense fragmentation de la végétation naturelle, produit de l'expansion agricole. Sur la base de ce contexte, l'objectif de l'étude était d'étudier la vulnérabilité environnementale et le potentiel de perte de sol dans le bassin supérieur du fleuve Caiapó, dans le sud-ouest de l'État

de Goiás, au Brésil, y compris les environs de neuf attractions touristiques. Nous avons appliqué les méthodologies de Salomão et al. (2012), pour évaluer le potentiel d'érosion en nappe, et Crepani et al. (2001), pour analyser la vulnérabilité environnementale à la perte de sol. Les résultats ont montré que la majeure partie de la zone était constituée de prairies, associées à une extrême sensibilité à l'érosion, en coïncidence spatiale avec la classe de vulnérabilité environnementale "Moyenne stable/vulnérable", avec plus de 70% d'occurrence. Cela démontre l'importance de conserver les vestiges situés autour des attractions touristiques analysées.

**MOTS-CLÉ:** Paysage, Processus d'érosion hydrique, Tourisme, Analyse de l'environnement.

## ***Vulnerabilità ambientale e potenziale perdita di suolo nei dintorni di attrazioni turistiche in paesaggi del Cerrado, nel bacino del fiume Caiapó, Caiapônia (GO) - Brasile***

### **RIASSUNTO**

Il bacino superiore del fiume Caiapó, situato nel bioma del Cerrado, è caratterizzato dall'esistenza di processi erosivi idrici che modificano sostanzialmente il paesaggio, ed è alterato dall'intensa frammentazione della vegetazione naturale, prodotto dell'espansione agricola. Sulla base di questo contesto, l'obiettivo dello studio era quello di indagare la vulnerabilità ambientale e il potenziale di perdita di suolo nel bacino superiore del fiume Caiapó, nel sud-ovest dello stato di Goiás, in Brasile, compresi i dintorni di nove attrazioni turistiche. Abbiamo applicato le metodologie di Salomão et al. (2012), per valutare il potenziale di erosione del foglio, e Crepani et al. (2001), per analizzare la vulnerabilità ambientale alla perdita di suolo. Dai risultati è emerso che la maggior parte dell'area è costituita da praterie, associate ad estrema suscettibilità all'erosione, in coincidenza spaziale con la classe di vulnerabilità ambientale "Medio stabile/vulnerabile", con oltre il 70% di occorrenza. Ciò dimostra l'importanza di conservare i resti situati intorno alle attrazioni turistiche analizzate.

**PAROLE CHIAVE:** Paesaggio, Processi di erosione idrica, Turismo, Analisi ambientale.

## Introdução

A paisagem do bioma Cerrado, considerada uma das mais ameaçadas do mundo, encontra-se em um avançado estágio de fragmentação, em função de sua conversão em pastagens e em lavouras, praticamente restando apenas como remanescentes, como é o caso de sua ocorrência no estado de Goiás<sup>1</sup> e especificamente na região de planejamento Oeste Goiano. O desenvolvimento socioeconômico e o crescimento populacional inevitavelmente modificam o meio natural<sup>2</sup>. Essas alterações podem causar fenômenos como perda de biodiversidade, erosão e assoreamento, dentre outros.

Desse modo, diversas pesquisas foram desenvolvidas para a proposição de métodos de avaliação da capacidade e conflito de uso, aptidão agrícola, fragilidade, susceptibilidade, vulnerabilidade natural e ambiental etc., que indicam condições da paisagem, associadas às características físico-naturais e/ou às alterações antrópicas<sup>3</sup>. Tais avaliações permitem o entendimento dessas condições e, geralmente, possibilitam também a análise da ocorrência de processos erosivos hídricos, e de sua provável intensificação, se não forem observadas tais características.

Deste contexto destaca-se o município de Caiapônia, que encontra-se em uma região de expansão da agropecuária sobre paisagens do Cerrado e parte dele localiza-se na alta bacia do rio Caiapó, afluente do alto rio Araguaia, a qual possui áreas configuradas como prioritárias para a conservação da biodiversidade do bioma Cerrado<sup>4</sup>. Nestes locais, dos tipos de solos existentes, há a ocorrência expressiva de solos de textura média e de alta erodibilidade. Apesar disso, sobre tais terrenos ocorre o predomínio de atividades agrícolas<sup>5</sup>.

A alteração antrópica dessas paisagens, principalmente com o desmatamento, a abertura de estradas e a ocupação, deixa o terreno exposto à atuação da água de chuvas intensas, acelerando os processos erosivos hídricos e que se associam a características do relevo - curvatura vertical, curvatura horizontal, formas do relevo - e a maturidade e profundidade dos solos. Nas regiões intertropicais brasileiras, principalmente na estação chuvosa os eventos configuram-se em elevados índices pluviométricos, em curtos períodos de tempo<sup>6</sup>.

O desconhecimento da diversidade biológica e ecológica, ou mesmo do potencial turístico de locais, como a alta bacia do rio Caiapó, pode ter contribuído para a transformação das paisagens das savanas, originando paisagens com remanescentes em fragmentação crescente<sup>7</sup>. Com base em questionamentos<sup>8</sup> referentes ao avanço de tais atividades, associado aos impactos da diminuição da biodiversidade e da degradação dos solos pela ocorrência expressiva de feições relativas aos processos erosivos.

Por outro lado, nessa região encontram-se atrativos ainda pouco explorados, mas de considerável de beleza cênica, como cachoeiras, mananciais de águas transparentes, formações rochosas, entre outras diversas paisagens turísticas. A investigação das vulnerabilidades desses terrenos, associadas às informações relativas ao uso e cobertura atual, pode dar suporte ao entendimento das vulnerabilidades denominadas ambientais<sup>9</sup>. Além disso, reconhece-se o potencial turístico existente na bacia do Caiapó, especificamente no município de Caiapônia, como alternativa, em incentivo a ações ligadas ao ecoturismo, que também dependem da conservação do bioma para sua realização<sup>10</sup>.

Tendo em vista este contexto, na presente pesquisa, o objetivo principal consistiu em investigar a vulnerabilidade ambiental e a potencialidade à perda de solos na alta bacia do rio Caiapó, na porção coincidente com o município de Caiapônia (Goiás/Brasil) e que abrange o entorno de nove atrativos turísticos em paisagens do Cerrado. Essa área definida para pesquisa, localizada na região oeste de Goiás (Figura 1), distancia-se de aproximadamente 318 km de Goiânia, capital do estado de Goiás (Brasil).

A pesquisa analisou a vulnerabilidade ambiental à perda de solos e à potencialidade à erosão laminar da área de estudo. A metodologia de avaliação da potencialidade à erosão hídrica laminar segundo Salomão et al. (2012) considera os parâmetros de erodibilidade, declividade e uso e cobertura do solo e a de Crepani et al. (2001), além dessas características envolve ainda, a geomorfologia do local, a geologia e o clima. Desse modo, considerou-se a possibilidade de observar as condições mais críticas quanto à ocorrência dos processos erosivos na área em questão, uma vez que nela ocorre quantidade expressiva de atrativos turísticos e que quase

<sup>1</sup> Lobo; Guimarães, 2008.

<sup>2</sup> Araújo; Aguiar Netto, 2018. Sanson; Hernández, 2018. Reina, 2023.

<sup>3</sup> Giboshi; Rodrigues; Lombardi Neto, 2006. Silva; Rosa, 2019. Pereira; Lombardi Neto, 2004. Ross, 2011.

<sup>4</sup> Canedo, 2018.

<sup>5</sup> Faria; Santos, 2016.

<sup>6</sup> Nascimento et al., 2016.

<sup>7</sup> Faria; Santos, 2016. Carneiro, 2012.

<sup>8</sup> Castro, 2005.

<sup>9</sup> Olímpio; Zanella, 2012.

<sup>10</sup> Godinho; Oliveira, 2017.



**Quadro 2. Critérios adotados na definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar**

ERODIBILIDADE	DECLIVIDADE (%)			
	I (>20)	II (12 a 20)	III (6 a 12)	IV (<6)
1- Muito Alta	I	I	II	II
2- Alta	I	II	II	III
3- Média	II	III	III	IV
4- Baixa	III	IV	IV	V
5- Não erodível	Não existe	Não existe	Não existe	V

Fonte: Salomão, Canil e Rodrigues (2012).

**Quadro 3. Classificação da ação erosiva e seus respectivos usos**

CLASSES	USO E COBERTURA DO SOLO
I – Muito Forte	Infraestrutura urbana, Soja, Outras áreas não vegetadas, outras lavouras temporárias
II – Forte	Cana de açúcar
III – Médio	Floresta plantada, pastagem
IV – Fraco	Formação Campestre, Formação Savânica
V – Muito Fraco	Formação florestais, rios e lagos

Fonte: Silva e Oliveira (2015).

Quanto à determinação das classes de potencialidade à erosão, seguiu-se o que foi determinado em termos de suscetibilidade à erosão laminar associada às classes de uso e cobertura do solo<sup>16</sup>, classificando os dados em três classes de potenciais atuais à erosão (I – Alto potencial, II – Médio potencial, III – Baixo potencial), apresentadas no (Quadro 4).

Tendo em vista a observação do potencial atual do terreno à erosão, o trabalho investigou também a vulnerabilidade ambiental à perda de solos, tendo como base uma metodologia também consagrada na literatura<sup>17</sup>. Essa metodologia foi desenvolvida a partir dos conceitos de Ecodinâmica<sup>18</sup>, cujas unidades de paisagem são analisadas a partir do predomínio de processos de morfogênese ou de pedogênese, associados à vulnerabilidade/estabilidade quanto à perda de solos.

Na pesquisa, adaptou-se a metodologia de avaliação da vulnerabilidade ambiental à perda de solos, por meio de alguns procedimentos. Enquanto essa metodologia parte da avaliação de cinco temas (geomorfologia,

**Quadro 4. Critérios adotados na definição das classes de potencial atual à erosão laminar**

CLASSES DE SUSCETIBILIDADE À EROSIÃO LAMINAR	CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO				
	MFO	FO	MD	FR	MFR
I – Extremamente suscetível	I	I	I	II	III
II – Muito suscetível	I	II	II	III	III
III – Moderadamente suscetível	II	II	II	III	III
IV – Pouco suscetível	II	II	III	III	III
V – Pouco a não suscetível	II	II	III	III	III

\*MFO = muito forte; FO = forte; MD = médio; FR = fraco; MFR = muito fraco.

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2010).

geologia, solos, vegetação e clima), no presente trabalho utilizou-se o tema uso e cobertura do solo no lugar do dado de vegetação, tornando a avaliação do grau vulnerabilidade natural, desenvolvida por esses autores, na avaliação do grau de vulnerabilidade ambiental à perda de solos<sup>19</sup>. Quanto ao tema geomorfologia, segundo sugerido pela metodologia, leva-se em conta a declividade, a amplitude altimétrica das vertentes e o comprimento dos interflúvios, consideraram-se aqui, além da declividade, temas correlatos, envolvendo o modelo HAND – Height Above the Nearest Drainage<sup>20</sup> e o de densidade de drenagem, respectivamente.

Assim, o mapa de vulnerabilidade ambiental à perda de solos foi gerado a partir dos mapas de vulnerabilidade dos temas geologia, geomorfologia, solos, uso e cobertura do solo e clima. Para o caso deste último, foi adotado um valor somente<sup>21</sup>, para o caso da bacia do rio do Peixe, também afluente do rio Araguaia, adjacente à bacia do Caiapó. Na padronização dos mapas, seguiu-se o que foi sugerido, disponibilizaram uma paleta de cores (Figura 2).

O grau de vulnerabilidade pode ser quantificado por meio do cálculo da média de cinco temas – Geomorfologia (R), Geologia (G), Solos (S), Vegetação (Vg) e Clima (C) – em relação ao qual substituiu o tema Vegetação pelo tema Uso e cobertura do solo<sup>22</sup>. Como comentado, tais parâmetros foram analisados a partir de operações de álgebra entre mapas, envolvendo principalmente os procedimentos: (a) união entre arquivos vetoriais (Geoprocessamento > Unir); (b) edição da tabela de

<sup>16</sup> Bertoni; Lombardi Neto, 2010.

<sup>17</sup> Crepani et al., 2001.

<sup>18</sup> Tricart, 1977.

<sup>19</sup> Olímpio e Zanella, 2012.

<sup>20</sup> Rennó et al., 2008.

<sup>21</sup> Tavares, 2021.

<sup>22</sup> Crepani et al., 2001.

Figura 2. Escala (RGB) de Vulnerabilidade

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
			VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8		255	102	0	
U4	2,7	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	153	0	
U5	2,6		255	204	0	
U6	2,5		255	255	0	
U7	2,4	MEDIANAM. ESTÁVEL/VULNERÁVEL	204	255	0	
U8	2,3		153	255	0	
U9	2,2		102	255	0	
U10	2,1	MODERADAM. ESTÁVEL	51	255	0	
U11	2,0		0	255	0	
U12	1,9		0	255	51	
U13	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	1,7		0	255	153	
U15	1,6		0	255	204	
U16	1,5	ESTÁVEL	0	255	255	
U17	1,4		0	204	255	
U18	1,3		0	153	255	
U19	1,2	ESTÁVEL	0	102	255	
U20	1,1		0	51	255	
U21	1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (2001).

atributos; e (c) utilização da “Calculadora de campo” para aplicação da Eq. 1.

$$V = \frac{(G+R+S+Vg+C)}{5}$$

Onde:

V = Vulnerabilidade;

G = Vulnerabilidade da Geologia;

R = Vulnerabilidade da Geomorfologia;

S = Vulnerabilidade dos Solos;

Vg = Vulnerabilidade da Vegetação (substituído pelo tema de Uso e cobertura do solo);

C = Vulnerabilidade do Clima.

Para que fosse elaborado o mapa de vulnerabilidade ambiental, os dados de pedologia (solos) foram reclassificados e adaptados a seguir (Quadro 5). A aquisição desses dados foi descrita anteriormente.

Para o mapa de uso e cobertura da terra, foram realizadas as seguintes etapas: (a) aquisição de dados do uso e cobertura a partir do MapBiomas 5.0, retiradas na plataforma do Google Engine; (b) tratamento, recorte e classificação dos arquivos no programa ArcGIS 10.3/ESRI; (c) definição das classes realizada de acordo com o manual disposto no site do MapBiomas 5.0; (d) geração do mapa de vulnerabilidade do uso e ocupação, reclassificado segundo a metodologia (2001c), (Quadro 6).

Para a geração do mapa da vulnerabilidade da geologia, foram realizadas as seguintes etapas: (a) aquisição a um banco de dados secundários, advindo da Superintendência de Geologia e Mineração – SIC; (b) atribuição de valores (Quadro 7) das respectivas classes de vulnerabilidade.

Quadro 5. Classes de solos e o valor de vulnerabilidade natural

TIPOS DE SOLO	VALORES DE VULNERABILIDADE
Neossolo Litólico distrófico	1
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico	2
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	2
Nitossolo Vermelho eutrófico férrico	2
Latossolo Vermelho ácrico	1
Latossolo Vermelho distrófico férrico	1
Latossolo Vermelho distrófico	1
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	1,3
Gleissolo Haplicodistrófico	3
Cambissolo Háplico eutrófico	2,5
Cambissolo Háplico distrófico	2,5

Fonte: Adaptado de Tavares (2021).

Quadro 6. Uso e Cobertura do Solo e os valores de vulnerabilidade

USO E COBERTURA DE SOLO	VALORES DE VULNERABILIDADE
Formação Florestal	1
Floresta Plantada	1
Formação Savânica	1,5
Campestre	1,5
Pastagem	3
Cana de Açúcar	3
Infraestrutura Urbana	3
Outras Áreas não Vegetadas	3
Recursos Hídricos	2
Soja	3
Outras Lavoura Temporárias	3

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

Para a geração de diversos produtos citados e análise dos resultados alcançados, foi também adquirido um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir da plataforma SIEG (GO) do Instituto Mauro Borges (IMB), a imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da United States Geological Survey (USGS sigla em inglês), de resolução espacial de aproximadamente 30 m. Esse MDE foi processado e classificado por meio do programa ArcGIS 10.3/ESRI, sendo utilizado para elaboração de outros modelos - HAND e Densidade de drenagem - gerados nesta pesquisa.

Para análise do tema geomorfologia<sup>23</sup>, sugerem a análise dos seguintes parâmetros: declividade, HAND

<sup>23</sup> Crepani et al., 2001.

### Quadro 7. Classes de Geologia (litologia) e os valores de vulnerabilidade

GEOLOGIA	VALORES DE VULNERABILIDADE
Sedimentos	1
Arenito	1
Arenito / Argilito arenoso	1,5
Depósitos de areia, Depósitos de cascalho	1,5
Depósitos de areia, Depósitos de cascalho, Depósitos de argila	3
Diamictito, Folhelho, Arenito, Siltito	3
Argilito Siltico, Folhelhos	3
Basalto	3
Folhelhos	2
Gabro	3

Fonte: Os autores.

(Height Above the Nearest Drainage) e o de Densidade de drenagem. Dessa forma, são atribuídos valores de vulnerabilidade para cada tema. Assim, para que a vulnerabilidade ao tema Geomorfologia fosse obtido, foram utilizados: a imagem SRTM com resolução 30 m e um arquivo vetorial referente às drenagens da área, gerado pelo IBGE em escala de 1:100.000; ambos adquiridos por meio da plataforma SIEG/IMB/GO.

A partir da imagem SRTM, o modelo HAND, utilizado em substituição ao tema denominado de amplitude altimétrica, evidenciou o desnível da superfície em relação à drenagem mais próxima, construído por meio da ferramenta *Hydrological Tools (TerraViewHidro 0.0.4)* e da declividade, resultante da função “Declividade” (ArcToolbox> Ferramentas *Spatial Analyst*> Superfície > Declividade), ferramentas do *ArcGIS 10.3/ESRI*. O índice morfométrico da densidade de drenagem, em substituição ao tema denominado, dissecação horizontal do relevo foi elaborado a partir da função “Densidade de Linha”, utilizando-se os dados de drenagem supra descritos.

Ao final da etapa citada e com os dados morfométricos prontos, foi realizada a reclassificação, com a função “Reclassificar” (ArcToolbox> Ferramentas *Spatial Analyst*> Reclassificar> Reclassificar); em sequência a transformação do dado matricial para o dado vetorial (ArcToolbox> Ferramentas de Conversão > Do Raster>Raster para polígono). Após essas etapas aplicou-se a função união (Geoprocessamento > Unir) e a álgebra dos mapas, utilizando a “Calculadora de campo”, seguindo-se a Eq. 1.

$$R = \frac{G + A + D}{3}$$

Onde:

R = Vulnerabilidade da Geomorfologia;

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecação Horizontal (adaptada pela utilização do modelo de Densidade de drenagem);

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica (adaptada pela utilização do modelo HAND);

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

Para a produção da vulnerabilidade da declividade a partir do MDE, cuja aquisição foi anteriormente descrita, foi gerado um mapa de declividades em porcentagens e classificado<sup>24</sup> (Quadro 8). Em relação ao grau de dissecação horizontal, foi utilizado o modelo de densidade de drenagem, de acordo com os valores encontrados para a área de estudo (Quadro 9), segundo o que foi sugerido<sup>25</sup>. Quanto à amplitude altimétrica das vertentes, o grau de vulnerabilidade foi adaptado para os valores encontrados para o modelo HAND, (Quadro 10).

Quanto ao grau de vulnerabilidade para o tema Clima, para a bacia contígua analisada, como comentado,

### Quadro 8. Classes de Declividade (%) e os valores de vulnerabilidade para o tema

DECLIVIDADE	VALORES DE VULNERABILIDADE
0-2%	1
2-6%	1,5
6-20%	2
20-50%	2,5
>50%	3

Fonte: Crepani et al. (2001).

### Quadro 9. Valores de Densidade de drenagem e o valores de vulnerabilidade

DENS. DE DRENAGEM (m/m <sup>2</sup> )	VALORES DE VULNERABILIDADE
0 - 0,5	1
0,5 - 1,0	1,1
1,0 - 1,5	1,2
1,5 - 2,0	1,3
2,0 - 2,5	1,4

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

<sup>24</sup> Crepani et al., 2001.

<sup>25</sup> Florenzano, 2008.

**Quadro 10. Valores do modelo HAND e os valores de vulnerabilidade**

HAND (m)	Valores VULN.	HAND (m)	Valores VULN.	HAND (m)	Valores VULN.
<20	1,0	77,0 – 84,5	1,7	141,5 – 151,0	2,4
20,0 – 29,5	1,1	84,5 – 94,0	1,8	151,0 – 160,5	2,5
29,5 – 39,0	1,2	94,0 – 103,5	1,9	160,5 – 170,0	2,6
39,0 – 48,5	1,3	103,5 – 113,0	2,0	170,0 – 179,5	2,7
48,5 – 58,0	1,4	113,0 – 122,5	2,1	179,5 – 189,0	2,8
58,0 – 67,5	1,5	122,5 – 132,0	2,2	189,0 – 200,0	2,9
67,5 – 77,0	1,6	132,0 – 141,5	2,3	> 200,0	3,0

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

foi considerado um valor igual a 1,6 para toda a bacia, tendo sido o mesmo aqui adotado<sup>26</sup>, que expressa a intensidade pluviométrica entre 175mm a 200mm.

## Resultados e Discussões

A área de estudo possui altitudes entre 476 e 1 044 m. A variação dessas altitudes, com consideráveis desníveis, relaciona-se à ocorrência das cachoeiras nas áreas em que as maiores amplitudes altimétricas ocorrem. Por se configurar na porção da alta bacia do rio Caiapó, somente a parte leste da área apresenta menores variações altimétricas. Com o dado extraído de um mapa de declividade feito ao decorrer deste projeto, percebe-se que na maior parte da área ocorre relevo plano (0 a 6%), principalmente na porção noroeste. Apresenta maiores inclinações da declividade próximo ao divisor de águas, na parte sul, próximo às bordas das áreas planas e mais altas. As áreas mais inclinadas indicam maior probabilidade de ocorrerem maiores velocidades de fluxo e, por isso, maiores perdas de solo. As áreas com declividade maior que 20% ocorrem em pequenas porções dessa parte da bacia. Pode ser destacado também que os atrativos turísticos ocorrem predominantemente em áreas com relevo mais movimentado.

Já o mapa de erodibilidade (Figura 3) apresenta uma quantidade expressiva de áreas classificadas como de muito alta erodibilidade, correspondentes a solos do tipo Cambissolo e Neossolo Quartzarênico. Já solos como Argissolos, considerados de alta erodibilidade, ocorrem em menores partes da área. O Nitossolo Vermelho, classificado em média erodibilidade, tem

ocorrência pontual. Uma grande parte da área de estudo composta por solos do tipo Latossolos foi considerada de baixa erodibilidade, estando na porção noroeste da área. Os solos do tipo Gleissolo apresentaram-se pouco expressivos.

O mapa de suscetibilidade à erosão hídrica laminar (Figura 4) representou claramente as áreas mais planas configuradas como pouco a não suscetíveis, uma vez que os solos que aí ocorrem são do tipo Latossolo. Porém, destaca-se que nos locais onde esses solos de textura média, a erodibilidade será maior e isso diminuirá sua resistência à ocorrência desse processo. Em expressiva parte da área ocorrem classes muito suscetíveis a extremamente suscetíveis, o que pode ser observado abrangendo quase a metade da área, em terrenos que se encontram no entorno dos atrativos.

Da observação do uso e cobertura do solo na área (Figura 5), percebe-se que grande parte da utilização por atividades relativas à agricultura, principalmente associadas ao plantio de soja, nas áreas classificadas como pouco a não suscetível, o que pode intensificar ou mesmo deflagrar processos erosivos laminares, caso ocorram baixas declividades, porém extensas rampas.

A potencialidade da erosão, por sua vez, pode ser observada a partir dos mapas da (Figura 6), na comparação dos mapas de suscetibilidade à erosão com o de uso e ocupação do solo. Associado às áreas com Extrema Suscetibilidade e Muito Suscetíveis à erosão, o uso é compreendido por áreas de pastagem, com alguns resquícios de vegetação natural. As ocupações relacionadas a atividades de agricultura, tanto de soja quanto de cana de açúcar e de outras lavouras temporárias, bem como a infraestrutura urbana, estão inseridas em áreas de moderadamente suscetíveis a pouco suscetíveis, e também em áreas não suscetíveis. Quanto aos atrativos, a maior parte encontra-se em área de alto potencial à erosão laminar.

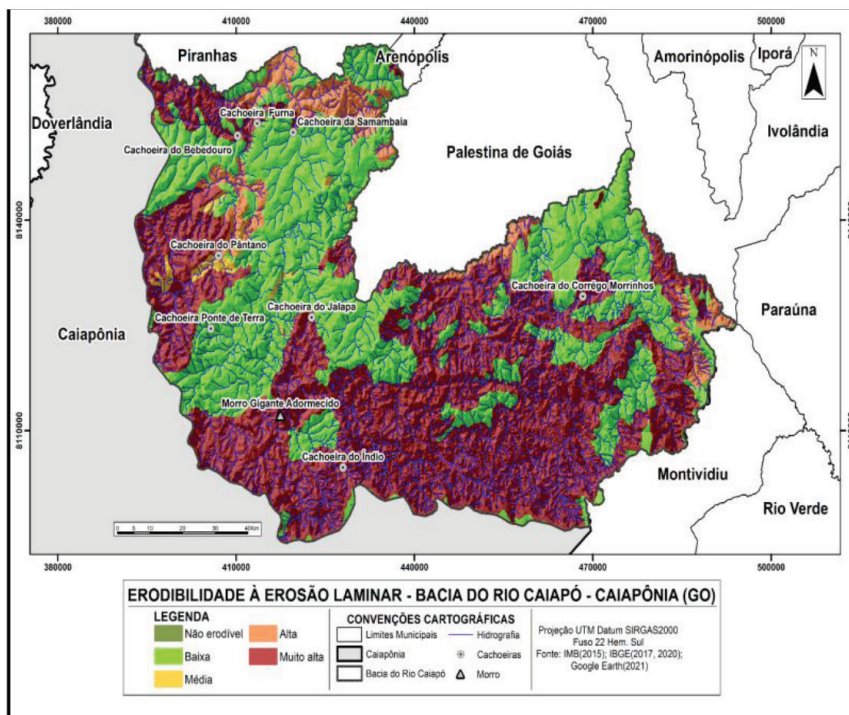
A vulnerabilidade ambiental à perda de solos, por sua vez, foi analisada quanto às condições relacionadas aos temas em específico, tendo sido considerado que, de um modo geral, o tema geomorfologia foi determinante na definição de valores médios, classificando a maior parte da área em medianamente estável/vulnerável (Figura 7 e Quadro 11).

Quanto à geologia, foi possível observar que os valores entre 2,6 e 2,8 ocuparam a maior parte da área, com rochas referentes a folhelhos, diamictitos, arenitos e siltitos. Os valores mais altos quanto a esse tema (3,0) corresponderam aos sedimentos recentes e aos depósitos de areia, cascalho e argila. Os valores intermediários

<sup>26</sup> Tavares, 2021.

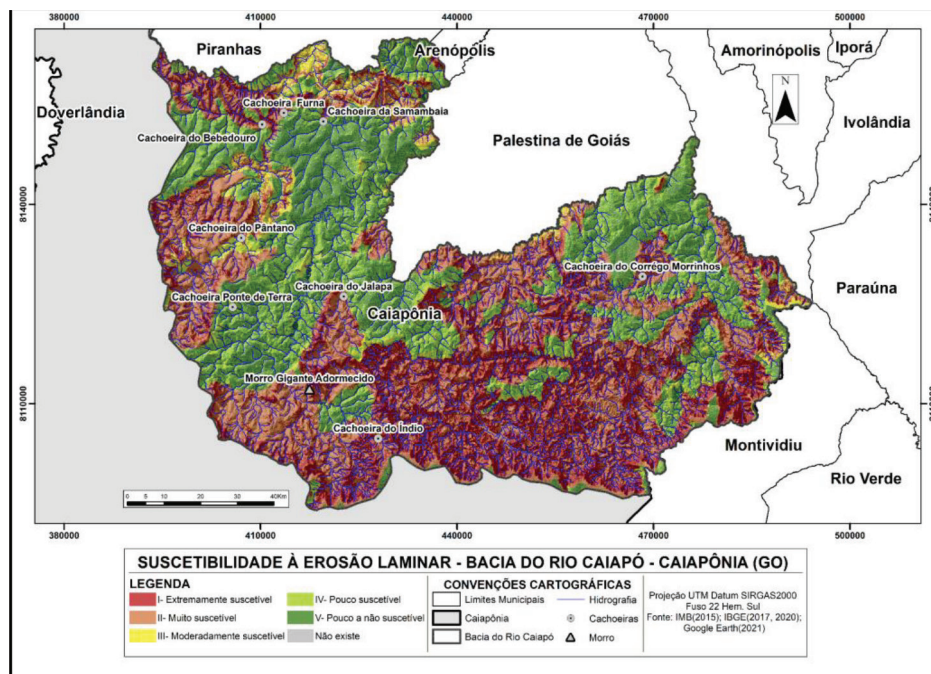


Figura 3. Mapa de Erodibilidade à erosão laminar da Bacia do Rio Caiapó (Caiapônia/Goiás)



Fonte: Os autores.

Figura 4. Mapa de Suscetibilidade à erosão laminar da Bacia do Rio Caiapó (Caiapônia/Goiás)



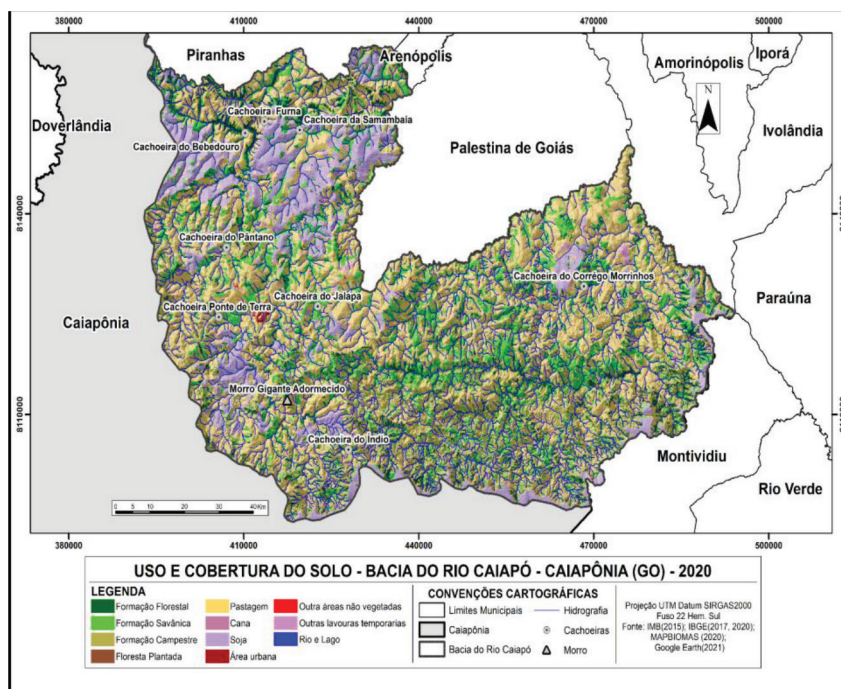
Fonte: Os autores.

aos arenitos, e os mais baixos (1,5 e 1,6), aos argilitos, siltitos e basalto.

Levando em consideração a declividade, foi possível observar que as áreas com relevos mais planos (de 0-2 e de 2-6%) são áreas extensas, correspondentes a baixos

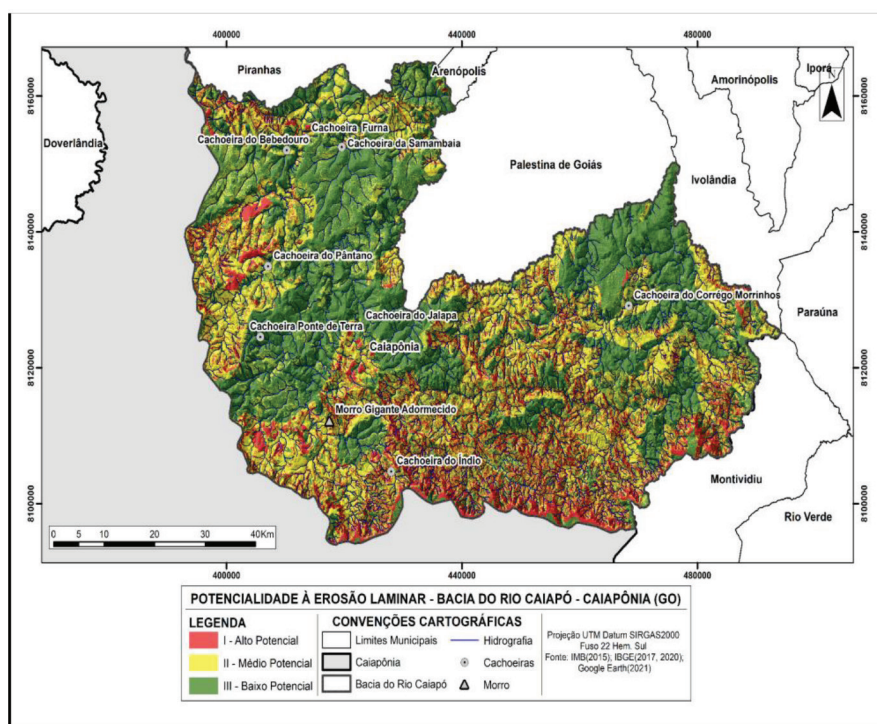
valores de vulnerabilidade ambiental. As áreas com relevo mais ondulado próximo à parte mais alta da bacia são áreas correspondentes a declividades entre 6-20 e 20-50%. Já as áreas mais vulneráveis, com valores correspondem às áreas situadas em topos de morros, cujas

Figura 5. Mapa de Uso e cobertura da Bacia do Rio Caiapó (Caiapônia/Goias - 2020)



Fonte: MapBiomias (2020).

Figura 6. Mapa de Potencialidade à erosão laminar da Bacia do Rio Caiapó (Caiapônia/Goias)

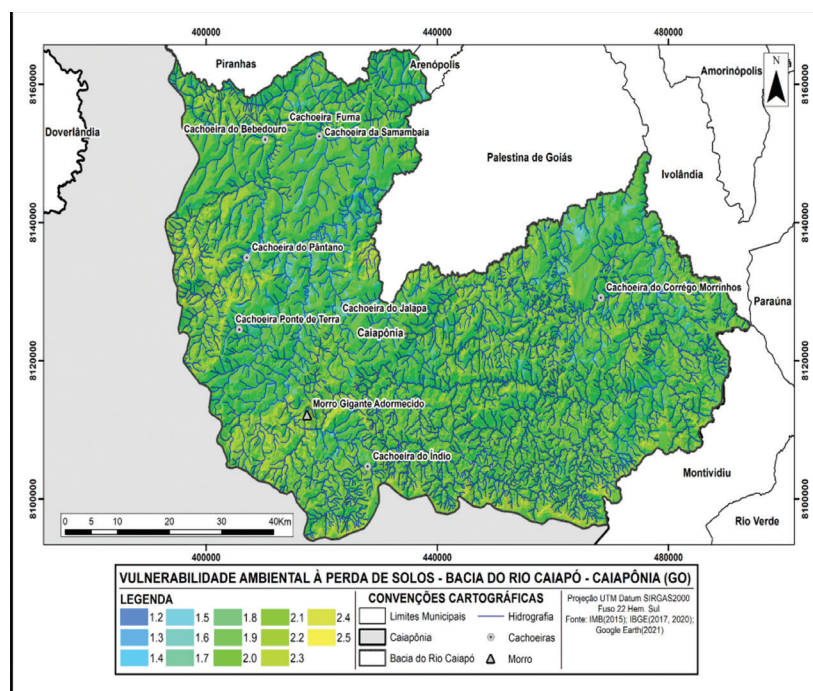


Fonte: Os autores.

encostas possuem declividades maiores que 50%. Associados a estas áreas predominantes, a densidade de drenagem mais frequente ficou em torno dos valores mais baixos, o que aparentemente não refletiu a dissecação existente na área, talvez por causa da escala da fonte dos dados. Quanto aos desníveis expressando a

amplitude altimétrica, analisados por meio do modelo HAND, observou-se que os valores predominantes associam-se aos desníveis de até 48,5 m, correspondentes aos valores predominantes de vulnerabilidade ambiental classificados como medianamente estável/vulnerável.

Figura 7. Mapa de Vulnerabilidade ambiental à perda de solos na Bacia do Rio Caiapó (Caiapônia/Goiás)



Fonte: Os autores.

Quadro 11. Grau de Vulnerabilidade Ambiental na Bacia do Rio Caiapó (Caiapônia/Gois)

GRAU DE VULNERABILIDADE	MÉDIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Estável	1.2	0,28	0,09
	1.3	3,77	
Moderadamente Estável	1.4	9,22	10,41
	1.5	92,42	
	1.6	240,28	
	1.7	93,70	
Medianamente Estável/Vulnerável	1.8	229,35	74,47
	1.9	1391,03	
	2.0	472,41	
	2.1	181,91	
	2.2	914,60	
Moderadamente Vulnerável	2.3	575,21	15,03
	2.4	64,97	
	2.5	3,71	

Fonte: Os autores.

Quanto à vulnerabilidade em confronto com os tipos de solos, as áreas com menores valores são compostas por solos do tipo Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo. Os solos do tipo Argissolo e Nitosolo corresponderam aos valores de vulnerabilidade

médios e os do tipo Cambissolo e do tipo Neossolo Quartzarênico, aos maiores valores. Apesar de os Gleissolos ocorrerem em pequenas áreas destaca-se sua alta vulnerabilidade.

Já o uso e ocupação do solo cujo predomínio ocorre por atividades relacionadas à agropecuária, configurando extensas áreas de pastagem e uma quantidade expressiva de áreas ocupadas por atividades de agricultura, associando-se à vulnerabilidade ambiental à perda de solos de grau mais alto. As áreas com pequenos remanescentes de vegetação natural possuem os menores graus de vulnerabilidade ambiental.

Os dados de potencialidade à erosão e vulnerabilidade ambiental trouxeram resultados que mostram que a área de estudo se encontra em risco, principalmente as com uso antrópico, os atrativos turísticos pelo seu relevo e as classificação que foi de médio potencial e alto potencial à erosão associadas a medianamente estável/vulnerável, expõem a suscetibilidade dessas áreas, sendo então de suma importância o manejo planejado da mesma.

## Considerações finais

A bacia do rio Caiapó tem considerável importância para a manutenção da biodiversidade da região e

por fazer parte da bacia do rio Araguaia. Destacam-se nesta pesquisa, as ocorrências com condições de extrema suscetibilidade e alta potencialidade à erosão laminar, sugerindo a manutenção dos remanescentes ainda presentes na alta bacia. Destacam-se de igual modo essas condições de alto potencial erosivo, bem como os graus médios aos maiores, associado a áreas de pastagens e aos entornos da maioria dos atrativos turísticos.

Sendo assim, tornam-se necessários mais estudos nesse sentido, pois além de ser uma região economicamente importante quanto à produção agropecuária, o que pode ser observado por meio do uso e cobertura do solo, ocorre uma quantidade expressiva de atrativos turísticos, associada a paisagens principalmente relacionadas à existência de cachoeiras. Os fatos aqui apresentados enfatizam a necessidade de criação de medidas tais que essas atividades sejam realizadas de modo a provocarem menos alterações possíveis e, portanto, menos impactos negativos, a partir do conhecimento da suscetibilidade e da potencialidade à erosão, bem como das vulnerabilidades à perda de solos do entorno dos atrativos turísticos.

## Referências

- Araújo, S. S. y Aguiar Netto, A. O.** 2018: "(Un) sustainability in the lower course of Sao Francisco River in the States Sergipe and Alagoas (Brazil)". *Agua y territorio/Water and Landscape*, 11, 83-95. <https://doi.org/10.17561/at.11.2956>
- Bertoni, J. y Lombardi Neto.** 2010: *Conservação do solo*. São Paulo (Brasil), Ícone.
- Canedo, G. S.** 2018: *Análise da estrutura da paisagem na sub-bacia do Rio Caiapó (GO)*. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia (Brasil).
- Carneiro, G. T.** 2012: *Processo de fragmentação e caracterização dos remanescentes de cerrado: análise ecológica da paisagem da bacia do rio dos Peixes (GO)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia (Brasil).
- Castro, S. S.** 2005: "Erosão hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: Distribuição, Condicionantes, Origem e dinâmica atual". *Revista do Departamento de Geografia – USP*, 17, 38-60. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0004>.
- Crepani, E., Medeiros, J.S., Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G; Duarte, V. y Barbosa, C. C. F.** 2001: *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos (Brasil), INPE.
- Faria, K. y Santos, R. A.** 2016: "Análise espacial da densidade de fragmentos remanescentes e da estrutura da paisagem na sub-bacia do Rio Caiapó-GO". *Ateliê Geográfico*, 10 (2), 115-127. <https://doi.org/10.5216/ag.v10i2.38627>
- Florenzano, T. G.** 2008: "Cartografia", em: Florenzano, T. G. (Org.), *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo (Brasil), Oficina de Textos, 105-128.
- Giboshi, M. L., Rodrigues, L. H. A. y Lombardi Neto, F.** 2006: "Sistema de suporte à decisão para recomendação de uso e manejo da terra". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 10 (4), 861-866. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000400012>.
- Godinho, G. R. y Oliveira, J. I.** 2017: "Políticas públicas para promoção do turismo e suas repercussões no território goiano". *ENANPEGE*, 12, Porto Alegre (Brasil). 12066-12074.
- Lobo, F. y Guimarães, L. F.** 2008: "Vegetação Remanescente nas Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade em Goiás: Padrões de Distribuição e Características". *Boletim Goiano de Geografia*, 28 (2), 89-104. <https://doi.org/10.5216/bgg.v28i2.5726>
- Nascimento, D. T. F., Romão, P. A., Sales, M. M., Vargas, C. A. L. y Amaral C. S.** 2016: "Mapeamento da suscetibilidade e potencialidade a processos erosivos laminares e lineares ao longo do duto OSBRA da PETROBRAS". *Geociências*, 35(4), 585-597.
- Olímpio, J. L. S. y Zanella, M. E.** 2012: "Emprego das geotecnologias na determinação das vulnerabilidades natural e ambiental do município de Fortaleza/CE". *Revista Brasileira de Cartografia*, 64(1), 01-14.
- Pereira, L. C. y Lombardi Neto, F.** 2004: *Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica*. Jaguaráuna (Brasil), Embrapa Meio Ambiente.
- Reina, A. G.** 2023: "Cambio en los patrones territoriales y análisis diacrónico de inundabilidad y erodabilidad en cuencas de la provincia de Málaga (1956-2010)". *Agua y Territorio/Water and Landscape*, 21, 69-83. <https://doi.org/10.17561/at.21.6368>.
- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hondneer, G., Tomassella, J. y Waterloo J.** 2008: "HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia". *Remote Sensing of Environment*, 112 (9), 3469–3481. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>.
- Ross, J. L. S.** 2011: "Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados". *Revista do Departamento de Geografia*, 8, 63-74. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>
- Salomão, F. X. T., Canil, K. y Rodrigues, S. P.** 2012: "Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos". *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 2 (2), 39-56.

- Sanson, L. M. y Hernández, F. G.** 2018: "Apropiación territorial y recursos hídricos en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta". *Agua y Territorio/Water and Landscape*, 12, 133-144. <https://doi.org/10.17561/at.12.3505>.
- Silva, A. S. y Rosa, R.** 2019: "Mapa de capacidade e potencial do uso da terra do município de Catalão (GO)". *Caderno de Geografia*, 29 (59), 954-977. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p954>.
- Silva, G. G. y Oliveira, L. N.** 2015: "Análise da suscetibilidade e potencial à erosão laminar no município de São Miguel do Araguaia – GO." *Anais, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, 17, João Pessoa. João Pessoa (Brasil), INPE. 6511-6518.
- Tavares, K. S. R.** 2021: *Adaptação do fator geomorfológico na metodologia de mapeamento da vulnerabilidade à perda de solos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Goiânia (Brasil).
- Tricart, J.** 1977: *Ecodinâmica. Recursos Naturais e meio ambiente*. Rio de Janeiro (Brasil), IBGE.