

## ***Protocolo para identificação de áreas suscetíveis à erosão aplicado na microbacia do córrego Fortaleza, Cuiabá/MT***

A erosão dos solos é entendida como um fenômeno geomorfológico natural que vem intensificando-se através das ações antrópicas que são desenvolvidas de forma inadequada, resultando na degradação dos solos e de suas múltiplas funções, e, com isso, ocasionando no desequilíbrio da dinâmica do ambiente natural e danos à própria sociedade, levando à perda da qualidade ambiental e cabendo a tomada de medidas que visem à conservação e recuperação das áreas degradadas. Nesse sentido, o objetivo do trabalho é de identificar, através de um protocolo, áreas com potencial à erosão na microbacia hidrográfica do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT, elaborando uma carta de suscetibilidade à erosão da microbacia hidrográfica utilizando o software de SIG ArcGis. Os procedimentos metodológicos propostos no presente estudo foram desenvolvidos em duas etapas: i) Realização do diagnóstico ambiental da microbacia; e ii) Aplicação e modelagem do Método Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão. Para a elaboração dos mapas temáticos foi utilizado o software ArcGis, versão 10.5. Os resultados obtidos a partir da elaboração do mapa final de suscetibilidade à erosão mostraram que grande parte da área é classificada como sendo de alto potencial erosivo, pois, representou 43,3% da área total da bacia, e isto tem como provável explicação o fato dessas áreas coincidirem com as áreas construídas. Em campo, foi possível constatar que a suscetibilidade erosiva da microbacia está fortemente influenciada pelas atividades antrópicas, com uso e ocupação do solo dominado pelo processo de urbanização acelerado e não planejado. Este estudo tornou possível verificar que aproximadamente 24,4% da área da microbacia apresenta baixo potencial à erosão e se nota que essas áreas estão situadas principalmente onde há presença de vegetação conservada e vegetação rasteira, e com declividades entre 0 e 8%. Desta forma, destaca-se a importância da realização de obras de proteção que minimizem os processos erosivos da microbacia, pois, as mudanças na cobertura vegetal e o uso e manejo inadequado têm influência no aporte de matéria orgânica do solo, podendo afetar seus atributos e aumentar sua erodibilidade com o tempo.

**Palavras-chave:** Análise multicritério; Álgebra de mapas; ArcGis; Erosão; Microbacia.

## ***Protocol for identifying areas susceptible to erosion applied in the Fortaleza stream microbasin, Cuiabá/MT***

Soil erosion is understood as a natural geomorphological phenomenon that has been intensifying through human actions that are inadequately developed, resulting in soil degradation and its multiple functions, and, with this, causing an imbalance in the dynamics of the environment and damage to society itself, leading to the loss of environmental quality and taking measures aimed at the conservation and recovery of degraded areas. In this sense, the objective of the work is to identify, through a protocol, areas with potential for erosion in the Córrego Fortaleza watershed, Cuiabá-MT, elaborating a susceptibility map to erosion of the watershed using the GIS software ArcGis. The methodological procedures proposed in the present study were developed in two stages: i) Conducting the environmental diagnosis of the watershed; and ii) Application and modeling of the Multicriteria Decision-Making Method. For the elaboration of thematic maps, the ArcGis software, version 10.5 was used. The results obtained with the elaboration of the final erosion susceptibility map showed that a large part of the area is classified as having high erosive potential, as it represented 43.3% of the total area of the basin, and this is likely to be explained by the fact that these areas coincide with the built-up areas. In the field, it was possible to verify that the erosive susceptibility of the hydrographic basin is strongly influenced by human activities, with land use and occupation dominated by the accelerated and unplanned urbanization process. This study made it possible to verify that approximately 24.4% of the microbasin area has low potential for erosion and it is noted that these areas are located mainly where there is presence of preserved vegetation and undergrowth, and with slopes between 0 and 8%. In this way, the importance of carrying out protection works that minimize the erosion processes of the microbasin is highlighted, since changes in vegetation cover and inadequate use and management influence the contribution of organic matter to the soil, which can affect its attributes and increase its erodibility over time.

**Keywords:** Multi-criteria analysis; Map algebra; ArcGis; Erosion; Microbasin.

Topic: **Biotecnologia**

Received: **05/06/2022**

Approved: **29/06/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Halley Rodrigues Filho**   
Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7224373138264420>  
<http://orcid.org/0000-0001-6342-0553>  
[halley@ufam.edu.br](mailto:halley@ufam.edu.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.006.0013

### **Referencing this:**

RODRIGUES FILHO, H.. Protocolo para identificação de áreas suscetíveis à erosão aplicado na microbacia do córrego Fortaleza, Cuiabá/MT. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.6, p.154-165, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.006.0013>

## INTRODUÇÃO

Os processos erosivos prejudicam as áreas causando perda de solo, degradação da qualidade dos recursos hídricos e riscos de danos à população (SILVA et al., 2014). Um dos impactos diretos da aceleração dos processos erosivos é o aumento da produção de sedimentos, que, ao atingirem corpos aquáticos, podem ocasionar o assoreamento desses sistemas, além de atuarem diretamente no transporte de outros poluentes. Em relação à erosão e sua relação com o uso e ocupação do solo, bem como seus impactos ambientais, Demarchi et al. (2014) salientam que:

A erosão constitui o principal impacto ambiental negativo provocado pelo uso inadequado do solo, pois resulta sobretudo, no assoreamento dos cursos de água. Nesse sentido, o levantamento e mapeamento das características do solo e de sua suscetibilidade natural à erosão são fundamentais para o planejamento do seu uso e ocupação de forma sustentável.

Guerra et al. (2017) destacam que os processos erosivos de perda do solo podem ser monitorados e analisados em diferentes escalas, sendo uma delas, a bacia hidrográfica. Sendo possível analisar os diversos fatores que atuam nos processos erosivos que prejudicam no meio ambiente e no meio social impactando na vida da população residente entorno da área da bacia hidrográfica.

De acordo com Crepani et al. (2001) o termo erodibilidade refere-se à capacidade de um determinado solo resistir a desagregação e transporte de sedimentos (à erosão) que variam com a textura do solo, a estabilidade de agregados e a força de cisalhamento. Para Lollo et al. (2013) entendem que:

A melhor forma de representar e analisar a suscetibilidade aos processos geológicos e os riscos consequentes se dá pela cartografia, sendo, geralmente as técnicas utilizadas baseadas em cruzamento de informações cartográficas (cartas temáticas) de forma a obter um produto cartográfico derivado, onde estariam representados os processos geológicos, hierarquizada a suscetibilidade.

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são ferramentas de geoprocessamento que auxiliam os pesquisadores a terem uma qualidade na modelagem e na obtenção detalhada de atributos do solo e de variáveis do espaço físico, que são indispensáveis para o planejamento adequado do uso da terra e análises ambientais, a partir de informações primárias do local de estudo (UTSUMI, 2020).

Os estudos de identificação do potencial erosivo do solo são muito importantes para a implantação de políticas públicas, pois, auxiliam os gestores no processo de tomada de decisão (COSTA et al., 2015; SOARES JÚNIOR, 2020). Que por sua vez, poderá servir de base para a avaliação da vulnerabilidade ambiental de um dado local e verificar de que forma essa perda do solo pode impactar na qualidade da água, através da presença de áreas erodidas, indícios de carregamento de sólidos para o corpo d'água e indícios de assoreamento do corpo d'água (FRANCO et al., 2012; GOTTSTEIN et al., 2019).

Ademais, o conhecimento acerca da dinâmica dos processos erosivos é de fundamental importância para auxiliar no gerenciamento dos recursos hídricos já que a produção de sedimentos a partir desses processos é utilizada como indicador dos impactos de ações antrópicas nos corpos d'água (MINELLA et al., 2011; ISMAEL et al., 2019; MAFRA et al., 2020).

Diante do exposto, o presente estudo teve o objetivo de identificar áreas com potencial à erosão na microbacia hidrográfica do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT, através de um protocolo elaborando uma carta de

suscetibilidade à erosão da microbacia hidrográfica utilizando o software de SIG ArcGis.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta no presente estudo foi desenvolvida em duas etapas: i) Realização do diagnóstico ambiental da microbacia; e ii) Aplicação e modelagem do Método Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão. A Figura 1 apresenta o fluxograma simplificado da metodologia proposta.

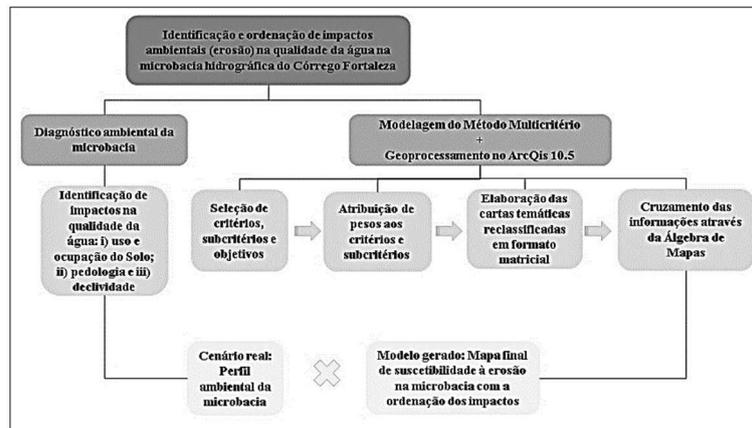


Figura 1: Fluxograma simplificado da metodologia proposta.

Para a modelagem do Método Multicritério, foram consideradas a seleção das alternativas de acordo com o método de geração das áreas com potenciais à erosão. A seleção dos critérios dentro de cada alternativa escolhida e a atribuição de pesos para cada critério.

## Área de estudo

A área de estudo compreende a microbacia do Córrego Fortaleza, que é uma sub-bacia do Rio Coxipó, que por sua vez, integra a Bacia do Rio Cuiabá ao qual está situada no perímetro urbano do município de Cuiabá-MT, na Região Sul (Figura 2). Suas características morfométricas estão apresentadas na Tabela 1.

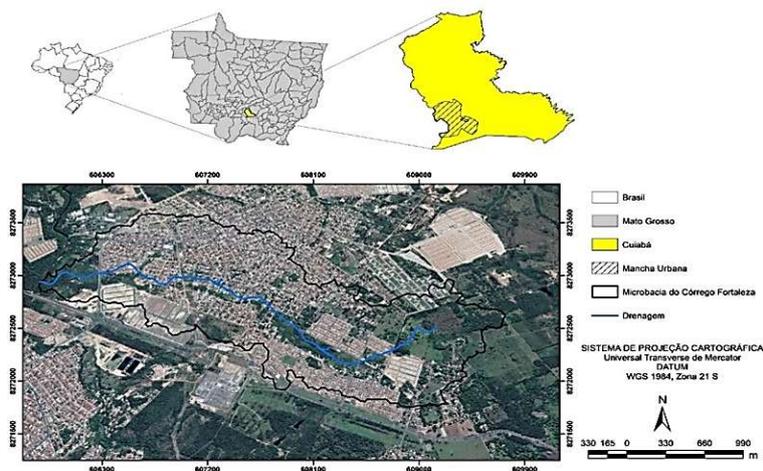


Figura 2: Localização da microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

Esta microbacia abrange o bairro Residencial Aricá e parte dos bairros Residencial Costa Marques, Santa Laura, Jardim Fortaleza, São João Del Rei e Osmar Cabral. Abriga uma população estimada em 12.788 habitantes, de acordo com dados obtidos de Cuiabá (2012). A Tabela 2 apresenta os dados de área dos bairros

e número de habitantes.

**Tabela 1:** Características morfométricas da microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

Características Morfométricas	Método Utilizado	Unidade	Valores Obtidos
Área da bacia – A	Medição utilizando ferramenta de cálculo de geometria disponível no ArcGis 10.3	km <sup>2</sup>	<b>3,430</b>
Perímetro total – P		Km	<b>12, 861</b>
Comprimento do curso d’água principal – L		Km	<b>4,882</b>
Comprimento total dos cursos d’água – Lt		Km	<b>8,801</b>
Distância do ponto mais distante do córrego até o exutório – E		Km	<b>3,781</b>
Amplitude altimétrica – H		m	<b>51,721</b>

Fonte: Oliveira (2017).

**Tabela 2:** Área e número de habitantes por bairro, na microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

Bairro	Área (km <sup>2</sup> )	População (hab)	Área dentro da bacia (%)	Área dentro da bacia (km <sup>2</sup> )	População dentro da bacia (hab)
São João Del Rei	1,0819	7.052	63,9	0,6917	<b>4.056</b>
Santa Laura	0,6012	2.924	57,7	0,3471	<b>1.687</b>
Jd. Fortaleza	0,6522	4.012	64,5	0,4208	<b>2.588</b>
Osmar Cabral	0,9683	4.530	2,5	0,0244	<b>91</b>
Res. Aricá	0,0941	1.506	100	0,0941	<b>1.506</b>
Res. Costa Marques	0,2463	2.860	100	0,2463	<b>2.860</b>
<b>Total</b>	<b>3,6440</b>	<b>22.884</b>	<b>50,1</b>	<b>1,8245</b>	<b>12.788</b>

Fonte: Cuiabá (2012).

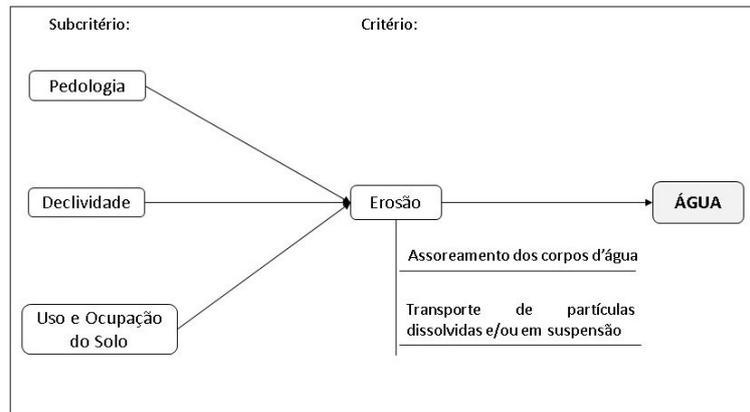
O bairro São João Del Rei apresenta a maior população da microbacia, com 4.056 habitantes e 63,9% de área do bairro drenada pelo córrego, enquanto a menor população da microbacia foi do bairro Osmar Cabral, com 91 habitantes e 2,5% de área drenada pelo córrego.

Ainda de acordo com dados de Cuiabá (2012), os bairros em questão abrigam uma população com renda classificada como baixa (inferior a 2,91 salários-mínimos/mês), enquanto o município de Cuiabá apresenta uma renda média de 7,49 salários-mínimos/mês.

### Diagnóstico ambiental da microbacia

O diagnóstico ambiental da microbacia do Córrego Fortaleza foi realizado de modo a identificar os principais problemas ambientais na qualidade da água gerados pelo uso e ocupação do solo. Para isso, as principais variáveis analisadas no diagnóstico foram: uso e ocupação do solo, declividade e pedologia.

Para o diagnóstico ambiental da microbacia do Córrego Fortaleza adotou-se o critério do método de geração de áreas com potencial à erosão. Tendo em vista o seu caráter empírico, o método de geração de áreas com potencial à erosão, neste estudo, funcionou como um roteiro para identificação das inter-relações dos subcritérios com o critério do meio ambiente (Figura 3). Para cada subcritério foram aplicadas metodologias científicas consolidadas (SALOMÃO, 1999; ROSS, 2005; SILVA et al., 2014), a fim de obter resultados consistentes na identificação dos impactos sobre a qualidade da água superficial da sub-bacia ocasionados pela erosão.



**Figura 3:** Diagrama de causa e efeito do critério e subcritérios analisados no diagnóstico ambiental da microbacia do Córrego Fortaleza e suas implicações na qualidade da água.

## Erosão

Neste estudo, a erosão foi identificada por meio da geração do mapa de suscetibilidade à erosão. Para a elaboração deste mapa, seguiu-se a metodologia descrita por Silva et al. (2014), a qual utiliza a análise multicritério, uma vez que esta permite a investigação combinada de diferentes variáveis para gerar um mapa síntese.

As variáveis adotadas para este estudo foram: Uso e Ocupação do Solo, Pedologia e Declividade. A elaboração das cartas e o cruzamento das informações foram realizados por meio do Software ArcGis, versão 10.5.

Considerando a análise multicritério, foram definidos pesos (0 – 100%) para cada variável de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com o fenômeno em questão (susceptibilidade à erosão), e notas (1 a 5) para cada componente de legenda, de maneira que quanto maior a nota, maior a suscetibilidade erosiva (1: muito baixa; 2: baixa; 3: média; 4: alta; 5: muito alta), da mesma forma que sugerido por Silva et al. (2014). O mapa final de suscetibilidade à erosão foi elaborado a partir do cruzamento dos parâmetros estabelecidos para as variáveis.

O primeiro passo foi a geração do mapa pedológico da microbacia, por meio da carta pedológica SD-21 disponível na base de dados do IBGE. De acordo com Demarchi et al. (2014), o mapa pedológico faz-se importante na análise da suscetibilidade, pois, o conhecimento dos tipos de solo, de suas propriedades e características hidrológicas torna possível fazer inferências sobre sua suscetibilidade natural à erosão.

Bertoni et al. (2014) explicam que alguns solos são mais erodíveis que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença ocasionada pelas propriedades inerentes ao solo é referida como erodibilidade do solo. Para Salomão (1999) e Ross (2005), cada tipo de solo, está associado a um grau de erodibilidade (Tabela 3).

Com as informações acerca do tipo de solo presente na microbacia, foi então gerada a carta de erodibilidade, reclassificando o mapa pedológico da microbacia, baseada nos índices relativos de erodibilidade dos solos mapeados.

Depois de definida a classe de erodibilidade para o tipo de solo encontrado na área de estudo, foi elaborado o mapa de declividade a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT). Como resultado obteve-se a

declividade da área em porcentagem. Em seguida a declividade foi reclassificada em 5 intervalos segundo os respectivos graus de potencialidade erosiva adotados (Tabela 4).

**Tabela 3:** Classes de erodibilidade e importância dos tipos de solos na ocorrência de processos erosivos.

Classe de Erodibilidade	Unidades Pedológicas
I – Muito Fraco	Latossolo Roxo; Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo de Textura Argilosa; Solos Hidromórficos em Relevo Plano; Gleissolos; Planossolos; Organossolos; Neossolos Quartzarênico em Relevo Plano.
II – Fraco	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo de Textura Média Argilosa; Terra Roxa Estruturada; Latossolo Vermelho Escuro.
III – Médio	Argissolos Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Escuro; Textura Argilosa; Latossolo Vermelho Amarelo; Textura Argilosa e Média; Latossolo Vermelho Amarelo; Terra Bruna.
IV – Forte	Argissolo Vermelho Amarelo não abrupto; textura média-argilosa e média; Cambissolos; Argissolos Vermelho Amarelo de textura médioarenosa; Plintossolos.
V – Muito Forte	Cambissolos; Neossolos Litólicos; Argissolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro Abruptos, textura arenosa-média; Neossolos Quartzarênicos em relevos suave-ondulado e ondulado.

Fonte: Salomão (1999); Ross (2005).

**Tabela 4:** Classes de Declividade

Declividade	Grau de Potencialidade Erosiva
0 – 3%	Muito Fraca
3 – 8%	Fraca
8 – 12%	Média
12 – 20%	Forte
>20%	Muito Forte

Em seguida, foi gerado o mapa de uso e ocupação do solo da microbacia. Para a confecção deste mapa foi utilizada uma imagem de satélite da área de estudo, do ano de 2018, obtida no Software Google Earth Pro e georreferenciada no ArcGis 10.5. A vetorização das classes de uso e ocupação do solo, permitiu as seguintes classificações: Área Construída (conjuntos urbanos e acessos locais), Solo Exposto, Vegetação Conservada e Vegetação Rasteira. Depois dessa classificação, foi possível obter o mapa de uso e ocupação do solo da microbacia. A ocorrência de processos erosivos a partir das classes de uso e cobertura do solo obedece à classificação estabelecida conforme critérios de Ross (2005) e Salomão (1999), e pode ser vista na Tabela 5:

**Tabela 5:** Classes de uso do solo e os respectivos graus de suscetibilidade.

Classes	Uso e Ocupação
1 – Muito Forte	Áreas desmatadas; solo exposto; agricultura não-conservacionista; cobertura vegetal de baixo porte, com intensa atividade antrópica.
2 – Forte	Culturas de ciclo longo com baixa densidade; culturas de ciclo curto; cobertura vegetal de baixo e médio porte; com atividade antrópica moderada.
3 – Médio	Cultivos de ciclos longos; pastagens com baixo pisoteio de gado; silvicultura; cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica muito reduzida.
4 – Fraco	Formações arbustivas naturais; matas secundárias; cerrados e capoeiras; cobertura vegetal de porte alto a médio, com atividade antrópica muito reduzida.
5 – Muito Fraco	Florestas e matas naturais com biodiversidade, espelhos d'água e várzeas, cujo potencial erosivo pode ser considerado nulo.

Fonte: Salomão (1999); Ross (2005).

Depois de geradas os mapas temáticos das variáveis adotadas, foram definidos pesos intravariáveis (componentes de legenda), conforme observa-se na Tabela 6. A Tabela 7 apresenta os pesos adotados para cada variável.

**Tabela 6:** Notas estabelecidas para os componentes de legenda.

Variável	Componente de legenda	Peso (1 a 5)
Pedologia	Plintossolos	4
Declividade	0-3%	1
	3-8%	2
	8-12%	3
	12-20%	4
	>20%	5
Uso e Ocupação	Vegetação conservada	1
	Vegetação rasteira	2
	Área construída	4
	Solo exposto	5

Fonte: Adaptado Silva et al. (2014).

**Tabela 7:** Variáveis adotadas e respectivos pesos.

Variáveis	Peso (0 - 100%)
Pedologia	40
Declividade	30
Uso e Ocupação do Solo	30

Fonte: Adaptado Silva et al. (2014).

Definidos os pesos intra e entre variáveis, foi aplicado então o método de álgebra de mapas para gerar a carta final. Segundo Silva et al. (2014), esse método consiste na aplicação de operações aritméticas para associar vários mapas de modo a obter como resultado, classificações que permitem a análise geográfica. Esse método aplica-se em variáveis organizadas em planos de informações com representação matricial e cada célula das variáveis recebeu o valor do seu peso (Tabela 7). Para a aplicação desse método, foi aplicada a Equação 1.

$$\text{Carta de Suscetibilidade à Erosão} = (S*0,4) + (D*0,3) + (U*0,3) \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

S = Mapa Pedológico;

D = Mapa de Declividade;

U = Mapa de Uso e Ocupação do Solo.

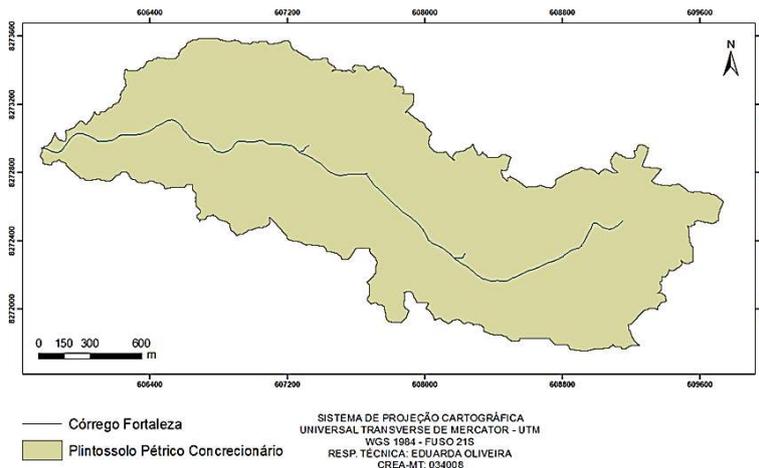
Depois do cruzamento das informações dos mapas, foram determinadas três classes de potencial à erosão laminar na microbacia, definidos por Silva et al. (2015) como: Classe I – Alto potencial: Uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar; Classe II – Médio potencial: Uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas; Classe III – Baixo potencial: Uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar. Após serem definidas as classes finais de potencial à erosão laminar, foi possível elaborar o mapa de suscetibilidade à erosão na microbacia do Córrego Fortaleza.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a aplicação da metodologia proposta, foram obtidos os mapas temáticos referentes a cada variável considerada nesta etapa do diagnóstico. Na Figura 4, percebe-se que a microbacia se caracteriza pedologicamente pela dominância do Plintossolo Pétrico Concessionário.

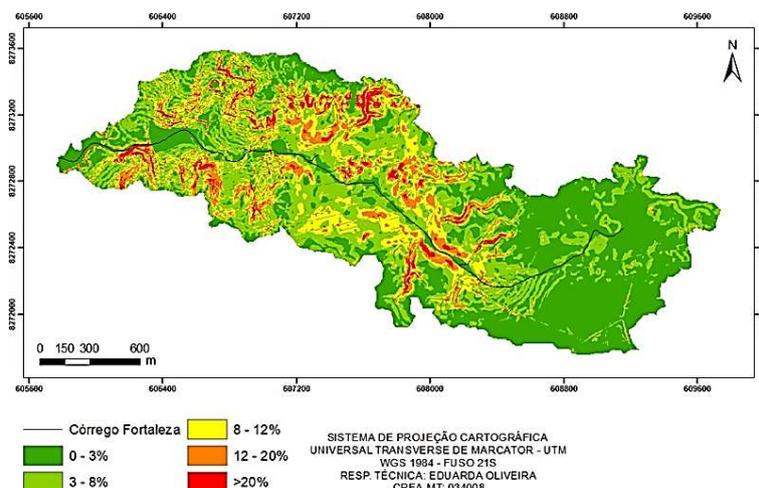
Os Plintossolos são solos minerais, formados sob condições de restrição a percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de um modo geral imperfeitamente a mal drenados (JACOMINE, 2009). Os Plintossolos são caracterizados principalmente pela presença de expressiva

plintitização com ou sem petroplintita (concreções de ferro ou cangas) (IBGE, 2015).



**Figura 4:** Pedologia da microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

Os Plintossolos Pétricos caracterizam-se pela presença no perfil dos horizontes diagnósticos concrecionário e/ou litoplíntico. Têm ocorrência mais restrita aos planaltos das regiões Centro-Oeste e Norte e alguns platôs da Amazônia (IBGE, 2015). De acordo com Salomão (1999) e Ross (2005), esta classe de solo está associado a um forte grau de erodibilidade. O mapa de declividade (Figura 5) mostrou predominância de relevo plano (0- 3%) e suavemente ondulado (3-8%).



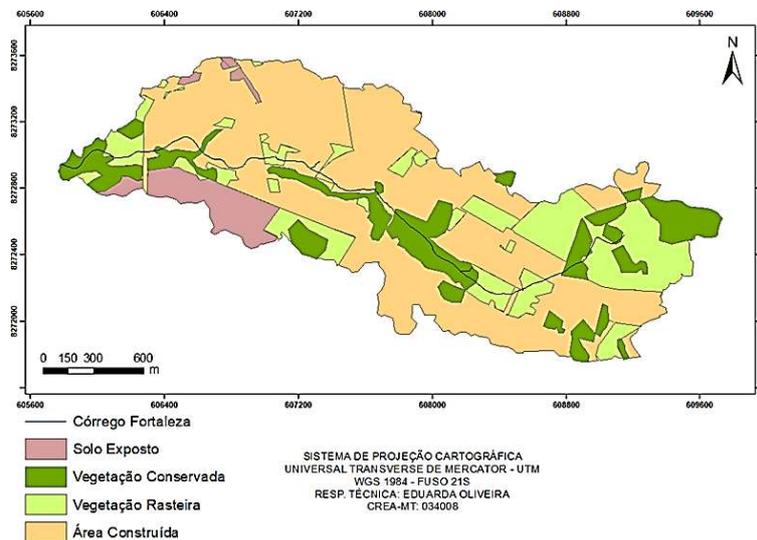
**Figura 5:** Declividade da microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

**Tabela 8:** Percentuais de área para cada grau de potencialidade erosiva da microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

Declividade (%)	Grau de Potencialidade Erosiva	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0 – 3	Muito Fraca	1,41	33,8
3 – 8	Fraca	1,16	41,2
8 – 12	Média	0,46	13,3
12 – 20	Forte	0,30	8,9
>20	Muito Forte	0,10	2,8
<b>Total</b>		<b>3,43</b>	<b>100</b>

A Tabela 8 apresenta os valores de área para cada classe de declividade considerada, dentro da microbacia. Conforme os dados apresentados na Tabela 8, nota-se que 41,2% da microbacia encontra-se em declividade de 3 a 8%, apresentando potencialidade erosiva Fraca, seguido de 33,8% de declividade entre 0

e 3%, com potencialidade erosiva Muito Fraca. Segundo Silva et al. (2014), declividades entre 0 e 8% consistem em uma superfície de topografia com desnivelamentos pequenos, pouco movimentada, e ondulações suaves. Apenas 2,8% da área da microbacia apresenta declividade acima de 20%, correspondendo ao grau de potencialidade erosiva Muito Forte. O mapa de uso e ocupação do solo identificou as classes Área Construída, Solo Exposto, Vegetação Conservada e Vegetação Rasteira (Figura 6). As áreas de cada classe de uso estão apresentadas na Tabela 9.



**Figura 6:** Uso e ocupação do solo da microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

**Tabela 9:** Classes de uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

Classe de Uso	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Área Construída	1,97	57,2
Vegetação Rasteira	0,70	20,2
Vegetação Conservada	0,56	16,5
Solo Exposto	0,20	6,1
<b>Total</b>	<b>3,43</b>	<b>100</b>

O atual uso e ocupação do solo da microbacia do Córrego Fortaleza apresenta predominância de área construída (57,2%), fragmentos de vegetação rasteira (20,2%), vegetação conservada (16,5%) e de solo exposto (6,1%).

Para Almeida Filho et al. (2006), o desenvolvimento da área urbana amplia as áreas construídas e pavimentadas, aumentando substancialmente o volume e velocidade das enxurradas e, desde que não dissipadas, concentra os escoamentos, acelerando os processos de desenvolvimento de processos erosivos.

O mapa de suscetibilidade à erosão gerado está apresentado na Figura 7. Pelo mapa final (Figura 7), verifica-se que grande parte da área pode ser classificada como sendo de alto potencial à suscetibilidade erosiva. Aproximadamente 43,3% da área total da bacia (Tabela 10), estão situadas nesta classe de alto potencial, o que pode ser explicado pelo fato dessas áreas coincidirem com as áreas de altas declividades encontradas e com as áreas construídas e de solo exposto. Valim et al. (2015) ressaltam que um dos principais aspectos que contribui para a ocorrência de erosão urbana é o crescimento acelerado e não planejado, uma vez que as áreas urbanas, quando expandem, acabam por atingir regiões com terrenos mais íngremes, fazendo com que as águas escoem mais rapidamente.

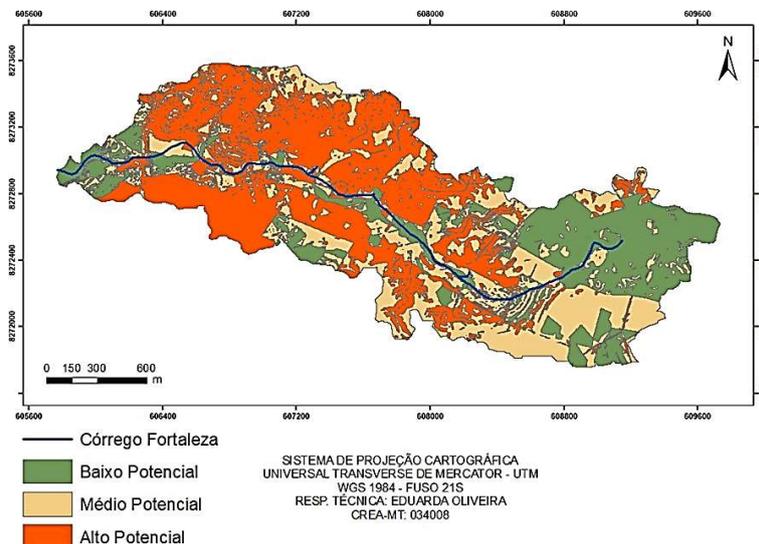


Figura 7: Suscetibilidade erosiva da microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

Tabela 10: Suscetibilidade erosiva da microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT.

Classes de Suscetibilidade Erosiva	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Baixo Potencial Erosivo	0,83	24,4
Médio Potencial Erosivo	1,10	32,3
Alto Potencial Erosivo	1,50	43,3
<b>Total</b>	<b>3,43</b>	<b>100</b>

O percentual para as áreas com médio potencial à erosão ficou em torno de 32,3%, e representou o segundo maior valor. Essa classe coincide com áreas construídas, porém com declividades entre 0 e 12% e com presença de vegetação rasteira.

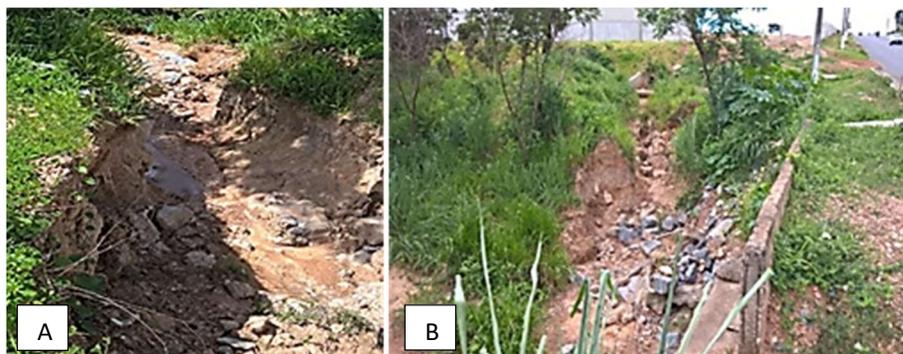


Figura 8: A) e B) Processos erosivos identificados na microbacia do Córrego Fortaleza.

Aproximadamente 24,4% da área da microbacia apresenta baixo potencial à erosão e nota-se que essas áreas estão situadas principalmente onde há presença de vegetação conservada e vegetação rasteira, e com declividades entre 0 e 8%.

Em campo, foi possível constatar que a microbacia possui processos erosivos acentuados, principalmente nas áreas mais urbanizadas (Figura 8 A e B). Observa-se que a suscetibilidade erosiva da microbacia está fortemente influenciada pelas atividades antrópicas, com uso e ocupação do solo dominado pelo processo de urbanização acelerado e não planejado.

Destaca-se que os processos erosivos identificados estão situados em áreas com declividades que variam de 12 a 20% e maiores de 20%. As declividades críticas encontradas, combinadas com os processos erosivos acentuados e a precipitação, podem acarretar o aumento da produção de sedimentos, que, ao

atingirem o corpo hídrico, tendem a ocasionar seu assoreamento, bem como a introdução de poluentes.

## CONCLUSÕES

O diagnóstico ambiental da microbacia possibilitou elencar os principais problemas ambientais relacionados à qualidade da água no processo da erosão. Tornando possível verificar que a microbacia do Córrego Fortaleza – Cuiabá/MT possui processos erosivos acentuados, principalmente nas áreas mais urbanizadas, fortemente influenciados pelas atividades antrópicas, com uso e ocupação do solo dominado pelo processo de urbanização acelerado e não planejado.

Ademais, o trabalho possibilitou perceber outra problemática que diz respeito à localização das residências. Aproximadamente 35% das habitações analisadas estão localizadas às margens do Córrego, oferecendo risco potencial à qualidade das águas e contribuindo para a ocorrência de áreas com alto potencial erosivo. Consequentemente, contribui para a diminuição das áreas de preservação permanente entorno da microbacia, pois, foi constatado que aproximadamente 24,4% da área da microbacia apresentou baixo potencial à erosão e nota-se que essas áreas estão situadas principalmente onde há presença de vegetação conservada e vegetação rasteira, e com declividades entre 0 e 8%.

A aplicação método multicritério e álgebra de mapas permitiu a ordenação dos impactos do mais ao menos significativo acerca do processo de erosão. Dito isto, essas ferramentas, através do protocolo desenvolvido, facilitam o gestor na tomada de decisão por não precisar realizar um monitoramento de longa duração, sendo necessário apenas o método multicritério em consonância com a álgebra de mapas.

O protocolo desenvolvido para identificação das áreas suscetíveis à erosão, neste estudo, a microbacia do Córrego Fortaleza, Cuiabá-MT mostrou que grande parte da área é classificada como sendo de alto potencial erosivo, pois, representou 43,3% da área total da microbacia, e isto pode ser explicado pelo fato dessas áreas coincidirem com as áreas construídas. Em campo, foi possível constatar que a suscetibilidade erosiva da microbacia está fortemente influenciada pelas atividades antrópicas, com uso e ocupação do solo dominado pelo processo de urbanização acelerado e não planejado.

As principais recomendações para os problemas diagnosticados neste estudo são: Realização de obras de proteção que minimizem os processos erosivos, como contenção e drenagem das águas pluviais; Melhorias no manejo do solo da microbacia do Córrego Fortaleza por meio de ações de gestão, a fim de alcançar melhores condições de vida à população e aos ecossistemas locais; Continuação de estudos com Métodos Multicritérios De Apoio à Tomada de Decisão em microbacias urbanizadas, a fim de que gerem informações para subsidiar o planejamento ambiental dessas áreas e, que otimizem o processo de tomada de decisão por parte dos gestores.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, G. S.; GOUVEIA, M. I. F.; RIDENTE JÚNIOR, J. L.; CANIL, K.. Prevenção e controle da erosão urbana no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 21. *Anais*. São Paulo: Abes, 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. *Conservação do Solo*. 9 ed. São Paulo: Ícone, 2014.

COSTA, C. W.; PIGA, F. G.; MORAES, M. C. P.; DORICI, M.;

SANGUINETTO, E. C. S.; LOLLO, J. A.; MOSCHINI, L. E.; LORANDI, R.; OLIVEIRA, L. J.. Fragilidade Ambiental e Escassez hídrica em Bacias Hidrográficas: Manancial do rio das Araras –Araras, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, p.946-958, 2015.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F.. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUIABÁ. SMDU. **Perfil socioeconômico de Cuiabá**. 5 ed. Cuiabá: Central de Texto, 2012.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L.. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.29, n.2, p.102-114, 2014. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>

FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. S.. Relação Qualidade da Água e Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista brasileira de geociências**, v.42, n.1, p.114-127, 2012. DOI: <http://doi.org/10.5327/Z0375-75362012000500010>

GOTTSTEIN, P.; JUNIOR, M. A. B.; ARANTES, E. J.. 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.10, n.3, p.352-367, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0030>

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O.. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

ISMAEL, D. A. M.; SILVA, E. F.; FREITAS, G. P.; SOUZA, T. M. I.. Identificação de impactos ambientais nas águas do trecho perenizado do Rio Piancó. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, n.3, p.999-1017, 2019. DOI: <http://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n3p999-1017>

JACOMINE, P. K. T.. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v.6, p.161-179, 2009.

LOLLO, J. A.; SENA, J. N.. Estabelecimento de suscetibilidade a erosão: Diferentes técnicas para diferentes etapas de

tomada de decisão. **Augmdomus**, v.5, p.197-212, 2013.

MAFRA, R. C.; PINHEIRO, M. M. F.; CICERELLI, R. E.; OSCO, L. P.; ALVES, M. R.; RAMOS, A. P.. Validação de mapa de vulnerabilidade a erosão por aprendizagem de máquina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.13, n.02, p.564-575, 2020. DOI: <http://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p564-575>

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. F.. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.12, p.1306-1313, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1415-43662011001200013>

OLIVEIRA, A. L. G.. **A produção do espaço urbano de Cuiabá, Mato Grosso (1920 - 2016)**. Dissertação (Mestrado Stricto Sensu em Desenvolvimento e Planejamento Territorial) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2017.

ROSS, J. L. S.. **Geomorfologia: ambiente e Planejamento**. 8 ed. São Paulo: Contexto, Repensando a Geografia, 2005.

SALOMÃO, F. X. T.. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, T. A. J.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G.. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.229-265.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S.. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima–Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v.31, n.2, p.66-87, 2014.

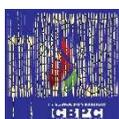
SILVA, G. G.; OLIVEIRA, L. N. Análise da suscetibilidade e potencial à erosão laminar no município de São Miguel do Araguaia – GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2015.

SOARES JÚNIOR, C. J. R. S.. Utilização da técnica AHP nos índices de vulnerabilidade natural a erosão na bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco como suporte para o ordenamento territorial. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.5, p.694-704, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0061>

UTSUMI, A. G.. Utilização de metodologia ativa de aprendizagem na disciplina de Sistemas de Informações Geográficas. **Research, Society and Development**, v.9, n.7, p.e904975014-e904975014, 2020. DOI: <http://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.5014>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749c6e646f68ac8c248420045cb7b5e/4495187680044091584990248054507007866474086961356520679561157891264731938817/>