

POTENCIAL À EROSÃO LAMINAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOURADINHO, NO TRIÂNGULO MINEIRO

João Victor Freitas Silva

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Instituto de Geografia
Uberlândia, MG, Brasil
joavictorfs14@gmail.com

Vanderlei de Oliveira Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Instituto de Geografia
Uberlândia, MG, Brasil
vanderlei.ferreira@ufu.br

RESUMO

O levantamento do potencial à erosão laminar resulta de uma análise detalhada sobre o risco da evolução dos processos erosivos nos terrenos em razão das interferências e modificações realizadas pela ação humana. Para esse levantamento recorre-se, basicamente, ao cruzamento matricial de informações relacionadas aos fatores de suscetibilidade erosiva natural e de uso e ocupação dos solos. O presente texto relata resultados de pesquisa dedicada à determinação do potencial à erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho, buscando contribuir para identificação das áreas onde o uso dos solos é compatível ou incompatível com a suscetibilidade erosiva, indicando os locais mais sujeitos à intensificação da erosão, incluindo a indicação de ações prioritárias para mudança na forma de ocupação e utilização de práticas de conservação. A integração das informações referentes aos fatores supracitados resultou em três diferentes classes de potencial à erosão laminar, conforme sugerido por Salomão (1999): alto potencial (I), médio potencial (II) e baixo potencial (III). De forma geral, ficou evidenciado que, em razão das interferências e das modificações realizadas pela atuação antrópica, 46,11% da área total da bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho apresentam um uso atual do solo incompatível com o grau de suscetibilidade à erosão laminar.

Palavras-chave: Processos erosivos. Uso e ocupação dos solos. Suscetibilidade erosiva.

POTENTIAL FOR LAMINAR EROSION IN THE RIBEIRÃO DOURADINHO WATERSHED, IN THE TRIÂNGULO MINEIRO

ABSTRACT

The survey of the potential for laminar erosion results from a detailed analysis of the risk of the evolution of erosion processes in the land due to interference and modifications carried out by human action. For this survey, basically, a matrix crossing of information related to factors of natural erosion susceptibility and soil use and occupation is used. This text reports the results of research dedicated to determining the potential for laminar erosion in the Ribeirão Douradinho watershed, seeking to contribute to the identification of areas where soil use is compatible or incompatible with erosion susceptibility, indicating the places most subject to the intensification of erosion, including the indication of priority actions for changing the form of occupation and use of conservation practices. The integration of information referring to the aforementioned factors resulted in three different classes of potential for laminar erosion, as suggested by Salomão (1999): high potential (I), medium potential (II) and low potential (III). In general, it was evident that, due to the interferences and modifications carried out by anthropic action, 46.11% of the total area of the Ribeirão Douradinho watershed present a current land use incompatible with the degree of susceptibility to laminar erosion.

Keywords: Erosive processes. Land use and occupation. Erosive susceptibility.

INTRODUÇÃO

A erosão dos solos tem sido considerada como um dos mais importantes problemas ambientais da atualidade. Em geral, esse fenômeno é dependente de uma série de fatores relacionados às condições naturais como o clima, a topografia, os tipos de solo e a cobertura vegetal. No Brasil, a

erosão relacionada à ação da dinâmica hídrica ganha destaque em razão da capacidade de atuação do impacto das gotas das abundantes chuvas e da força de arrasto das águas que escoam na superfície do terreno. Sabe-se que essa ação erosiva apresenta relação direta com a distribuição pluviométrica, no tempo e no espaço, e a sua intensidade (SALOMÃO, 1999).

Embora ocorra de forma natural, a erosão tende a ser acelerada à medida que o homem, buscando atender às suas necessidades e as demandas voltadas aos interesses econômicos, altera as características presentes no ambiente. Guerra e Mendonça (2004) ressaltam que é a ação antrópica, através do uso e manejo do solo, que, na maioria das vezes, é a grande responsável pelo desencadeamento e/ou pela aceleração da erosão nas encostas.

Nas últimas décadas, essa erosão acelerada tem sido motivo de preocupação e despertado o interesse de cientistas e pesquisadores a respeito do tema. As causas que levam a sua origem, evolução e, principalmente, a busca pelo seu controle têm se tornado alvo de estudos em diversas áreas do conhecimento.

Uma das formas mais eficientes no fornecimento de subsídios ao planejamento da ocupação dos solos tem sido a utilização de mapas capazes de determinar zonas com alto potencial erosivo. Esses mapas têm como propósito auxiliar na seleção de áreas prioritárias à conservação e recuperação dos solos de maneira a prevenir, desacelerar ou controlar a erosão (PEDRO; LORANDI, 2004; GUIMARÃES; SANTOS, 2007).

O levantamento do potencial à erosão laminar resulta de uma análise detalhada sobre o risco da evolução dos processos erosivos nos terrenos em razão das interferências e modificações realizadas pela ação humana. Este levantamento retrata a condição efetiva de ocorrência do fenômeno da erosão.

A erosão laminar, que se desenvolve sobretudo pela ocupação agrícola, apresenta-se, em muitos casos, como o primeiro estágio de desenvolvimento do processo, resultado de uma ação contínua e relativamente uniforme de remoção dos horizontes superficiais do solo. De difícil percepção, a laminar consiste em uma das mais degradantes formas de erosão, sendo representativa no carreamento dos minerais e da matéria orgânica dos solos e, também, responsável por provocar a degradação da estrutura física e a perda da fertilidade natural dos terrenos, motivo pelo qual tem se tornado foco principal dos estudos referentes ao tema (PAUL; WERLANG, 2012).

O potencial à erosão laminar consiste no resultado da sobreposição do mapa de suscetibilidade à erosão ao mapa de uso e ocupação atual dos solos, realizada por meio do cruzamento matricial destas informações. Considera-se, portanto, nesse estágio de aplicação da metodologia adotada, a influência significativa da ação econômica sobre o terreno e suas consequências quanto à ocorrência da erosão. Ressalta-se que os estudos voltados à análise do potencial erosivo podem ser considerados como uma ferramenta apropriada para a obtenção de diagnósticos ambientais, fornecendo informações sobre o ambiente e possibilitando a aplicação de metodologias de controle dos processos erosivos e de recuperação dos solos.

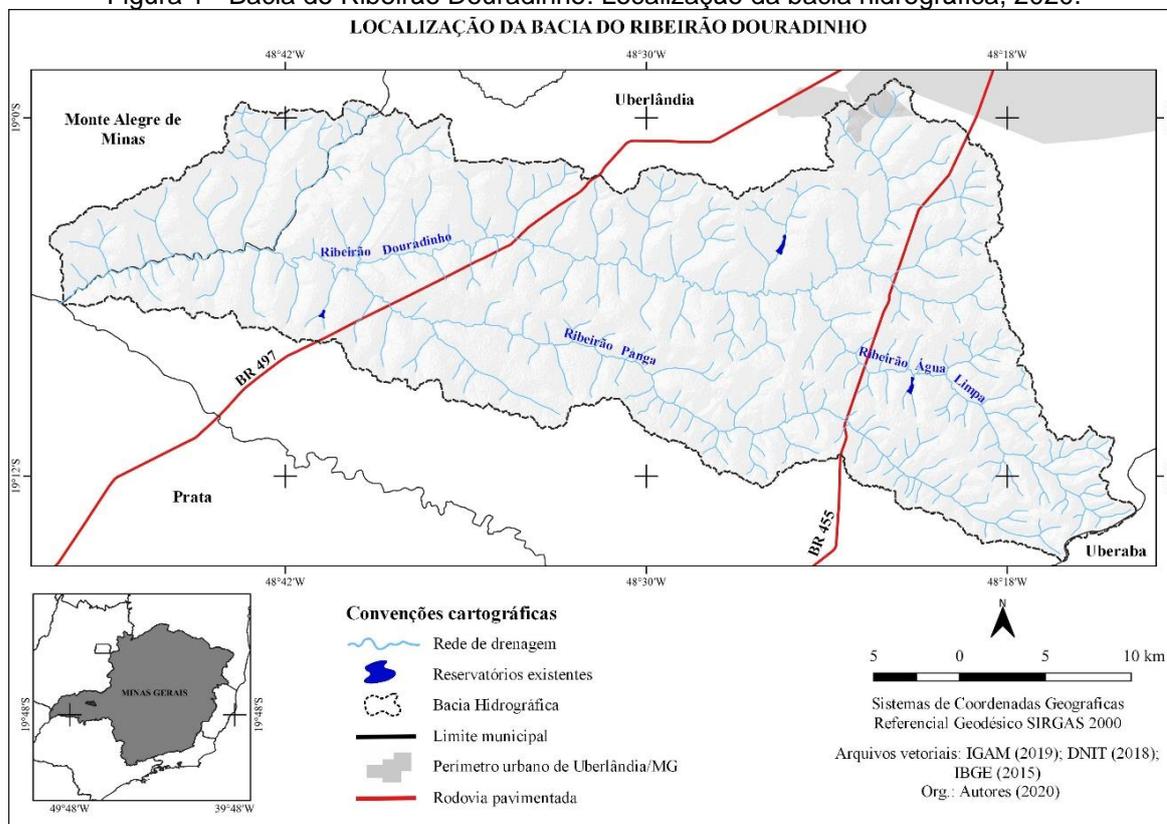
Pensando nisso, o presente trabalho teve como objetivo determinar e avaliar o potencial à erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho (figura 1), recorrendo especialmente a procedimentos metodológicos amplamente testados em pesquisas similares, contribuindo para identificar as áreas onde o uso dos solos é compatível ou incompatível com a suscetibilidade erosiva e indicando os locais mais sujeitos à intensificação da erosão, em virtude das ações antrópicas, incluindo a indicação de ações prioritárias para mudança na forma de ocupação e utilização de práticas de conservação. A avaliação desse potencial tem um papel fundamental enquanto contribuição ao ordenamento do uso do solo em bacias hidrográficas (CARVALHO; LEITE, 2015).

Os estudos desenvolvidos em bacias hidrográficas apresentam um importante papel quanto à análise dos problemas ambientais atrelados à erosão. Este recorte tem sido constantemente adotado como unidade para a gestão da paisagem em pesquisas relacionadas ao planejamento ambiental. As bacias compõem um conjunto de elementos adequado para a caracterização e avaliação da dinâmica natural e dos impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas, permitindo pontuar problemas difusos, tornando mais fácil a identificação dos focos de degradação ambiental.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho abrange áreas dos municípios de Uberlândia e Monte Alegre de Minas, na Região Geográfica Intermediária de Uberlândia, no estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 18°58'52" a 19°15'04" de latitude Sul e de 48°13'41" a 48°49'52"

longitude a Oeste de Greenwich, tendo como principais afluentes o Ribeirão Panga e o Ribeirão Água Limpa.

Figura 1 - Bacia do Ribeirão Douradinho: Localização da bacia hidrográfica, 2020.



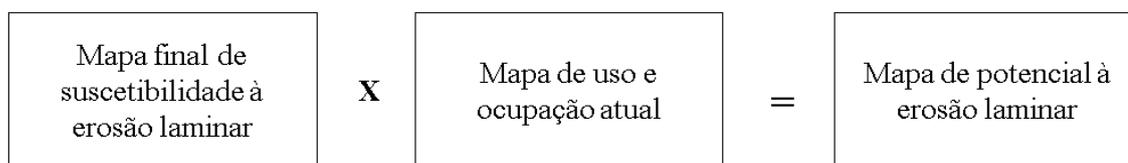
Fonte - Os autores (2020).

Seu canal principal percorre 65,5 km desde suas nascentes, localizadas no Bairro Morada Nova, na porção Sudoeste do perímetro urbano de Uberlândia, até a sua foz no Rio Tijuco. A bacia possui uma área total de 922,16 km², sendo cortada pelas rodovias BR 497, no sentido Uberlândia/Prata, e BR 455, no sentido de Uberlândia/Campo Florido. No contexto regional das bacias hidrográficas, o Ribeirão Douradinho é afluente da margem direita do Rio Tijuco, que se encontra inserido na Bacia do Rio Paranaíba, na Região Hidrográfica do Rio Paraná.

METODOLOGIA

O potencial erosivo na bacia do Ribeirão Douradinho foi determinado por meio de mapeamento temático, no *software* Qgis 3.4.15, e cruzamento matricial de informações referentes à suscetibilidade à erosão laminar e ao uso e ocupação atual do solo, conforme as etapas ilustradas na figura 2. Tal cruzamento poderia resultar em até três diferentes classes para a área de estudo.

Figura 2 - Roteiro metodológico para a definição das classes de potencial à erosão laminar.



Fonte - SALOMÃO (1999).

Procedimentos da avaliação da suscetibilidade erosiva natural

A suscetibilidade natural à erosão laminar foi calculada por meio do mapeamento de informações referentes aos fatores de erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, declividade do terreno e comprimento das encostas.

A determinação da erosividade foi realizada por meio de dados pluviométricos disponíveis no Portal HidroWeb, da Agência Nacional de Águas (ANA), referentes a cinco estações, sendo elas: Fazenda Letreiro; Fazenda Paraíso; Fazenda Nossa Senhora Aparecida; Monte Alegre de Minas; e Xapetuba. Inicialmente foram calculados os índices de erosividade mensal para cada estação pluviométrica, baseado na aplicação da metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1993), (equação 1).

$$EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right) 0,85 \quad (1)$$

Onde:

EI – índice de erosividade média mensal (MJ.mm/ha.h.mês);

r – precipitação média mensal (mm);

P – precipitação média anual (mm).

Por meio dos resultados dos índices mensais, foi possível realizar o cálculo anual através da soma dos valores das médias mensais de erosividade para cada uma das estações pluviométricas (equação 2).

$$R = \sum_{(2)} EI$$

Onde:

R – Erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano);

EI – índice de erosividade média mensal (MJ.mm/ha.h.mês).

A classificação final seguiu o critério de qualificação dos valores proposto por Carvalho (2008) (tabela 1).

Tabela 1 - Classificação da erosividade das chuvas.

Erosividade (MJ.mm/ha.h.ano)	Qualificação
< 2452	Fraca
2452 a 4905	Moderada
4905 a 7357	Moderada a Forte
7357 a 9810	Forte
> 9810	Muito Forte

Fonte - Carvalho (2008).

Ademais, para a determinação dos valores e elaboração do mapa de erosividade da bacia foi realizada a interpolação dos dados obtidos pelo método de Ponderação do Inverso da Distância (IDW).

A erodibilidade foi definida a partir do mapa de solos da bacia, em escala de 1:250.000, tendo como base índices já preestabelecidos na literatura por Bertoni e Lombardi Neto (1993), Machado et al. (2009) e Mannigel et al. (2002), correspondentes às diferentes formações pedológicas. A ponderação da erodibilidade para a área de estudo seguiu o critério da proposta elaborada por Salomão (1999)

onde os índices das principais unidades pedológicas foram relativizados em uma escala de 0 a 10 e divididos em cinco classes (tabela 2).

Tabela 2 - Classes de erodibilidade.

Classes	Índices relativos	Unidades Pedológicas
I	8,1 a 10,0	- Cambissolos, Solos Litólicos - Podzólicos abruptos, textura arenosa/média - Areias Quartzosas
II	6,1 a 8,0	- Podzólicos não abruptos, textura média/argilosa, e textura média
III	4,1 a 6,0	- Podzólicos de textura argilosa
IV	2,1 a 4,0	- Latossolos de textura média - Latossolos de textura argilosa - Terra Roxa Estruturada
V	0 a 2,0	- Solos Hidromórficos em relevo plano

Fonte - Salomão (1999).

O fator declividade do terreno foi determinado a partir do *Global Digital Elevation Model* (GDEM) com resolução espacial de 30 metros, obtidos por meio de imagens do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), no site *EarthData* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), baseando-se na classificação apresentada por Salomão (1999) (tabela 3).

Tabela 3 - Classes de declividade apresentadas por Salomão (1999).

Classes	Declividade (%)
I	> 20
II	12 a 20
III	6 a 12
IV	< 6

Fonte - Salomão (1999).

O procedimento para a obtenção dos valores do comprimento das encostas foi realizado seguindo a metodologia do retângulo equivalente, apresentada por Villela e Mattos (1975). Por essa metodologia determina-se o comprimento médio através da razão entre a área da bacia (em m²) e o somatório de todos os seus cursos d'água (em m) (equação 3).

$$L = Ar/4 \times lc \quad (3)$$

Onde:

L – comprimento de encosta (m);

Ar – área da bacia (m²);

lc – somatório do comprimento de todas as redes de drenagem da bacia (m).

Para tanto, inicialmente foi efetuada, a partir dos dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) de altitude do projeto Topodata e com o auxílio da ferramenta *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM), a delimitação e vetorização dos divisores de água das microbacias hidrográficas

existentes dentro dos limites da área de estudo. Posteriormente, fez-se a sobreposição desta camada aos dados relacionados à rede de drenagem, possibilitando o cálculo do comprimento de encosta para cada microbacia, e sua distribuição em diferentes classes.

A suscetibilidade erosiva na bacia, a qual reflete as características naturais dos terrenos em relação ao desenvolvimento dos processos erosivos, foi definida através do cruzamento matricial e da sobreposição das informações referentes aos fatores supracitados. As classes preliminares de suscetibilidade foram obtidas pela integração dos dados de erodibilidade do solo e de declividade do terreno. Essa integração foi realizada por meio do cruzamento relacionando as classes dos referidos fatores, conforme os critérios apresentados na tabela 4, resultando no mapa preliminar de suscetibilidade à erosão.

Tabela 4 - Critério para a definição das classes preliminares de suscetibilidade à erosão laminar.

		Declividade (%)			
		I (> 20)	II (12 a 20)	III (6 a 12)	IV (<6)
Erodibilidade	I	I	I	II	II
	II	I	II	II	III
	III	II	III	III	IV
	IV	III	IV	IV	V
	V	Não existe	Não existe	Não existe	V

Fonte - Salomão (1999).

A classificação final procedeu-se através da sobreposição das classes preliminares aos dados de erosividade das chuvas e de comprimento das encostas encontrados, permitindo definir com maior precisão as áreas/classes de suscetibilidade à erosão laminar.

Para a sobreposição aos dados de erosividade foi feita a ponderação com base na classificação proposta por Carvalho (2008), descrita na tabela 1. As classes de erosividade propostas foram espaçadas de forma proporcional à sua intensidade visando um maior detalhamento e possibilitando uma melhor determinação dos resultados, sendo seus valores ponderados nos pesos de 0, 1 ou 2, considerando o seu nível de força. Assim, os pesos foram atribuídos às interseções e, posteriormente, integrados e convertidos nas classes finais. O cruzamento final dos dados para a obtenção da suscetibilidade na bacia foi realizado conforme os critérios apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Critério para a definição das classes finais de suscetibilidade à erosão laminar.

		Erosividade										
		Muito Forte	Forte				Moderada a Forte			Moderada	Fraca	
Classes preliminares de suscetibilidade		>9810	9197 a 9810	8584 a 9197	7970 a 8584	7357 a 7970	6539 a 7357	5722 a 6539	4905 a 5722	3678 a 4905	2452 a 3678	<2452
		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
II	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II	
III	I	I	I	I	II	II	II	II	III	III	III	
IV	II	II	II	II	III	III	III	III	IV	IV	IV	
V*	III	III	III	III	IV	IV	IV	IV	V	V	V	

Fonte - Adaptado de Carvalho (2008) e Salomão (1999).

*Em solos hidromórficos a suscetibilidade continuará a mesma indicada nas classes preliminares, independentemente do nível de erosividade, por constituírem solos não suscetíveis à erosão.

Procedimentos para caracterização do uso e ocupação atual do solo

A caracterização da cobertura vegetal e uso do solo foi efetuada a partir de dados do mapeamento do projeto TerraClass Cerrado (2015) e da verificação de suas classes em imagens de satélite e em trabalhos de campo. Para tanto, foram utilizadas imagens do satélite *Landsat-8* correspondente à órbita 221 e ponto 73, datadas de 11/04/2020. As classes de cobertura vegetal e uso do solo da área de estudo foram compatibilizadas às classes de ocupação atual dos solos apresentadas por Salomão (1999) possibilitando a sobreposição dos dados, sendo estas:

- **Classe I:** Cobertura vegetal de baixo e médio porte, com intensa atividade antrópica (culturas anuais, estradas e áreas urbanizadas).
- **Classe II:** Cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica moderada (culturas perenes e pastagem).
- **Classe III:** Cobertura vegetal de baixo a médio porte, com atividade antrópica muito reduzida (pasto sujo e campo cerrado).
- **Classe IV:** Cobertura vegetal de porte alto a médio, com atividade antrópica muito reduzida (reflorestamento, capoeirão e floresta).
- **Classe V:** Espelhos d'água e várzeas, cujo potencial erosivo pode ser considerado nulo.

Procedimentos da avaliação do potencial à erosão laminar

Os resultados da compatibilização das classes de uso do solo e da suscetibilidade foram cruzados conforme os critérios apresentados na tabela 6, resultando nas diferentes classes de potencial à erosão laminar e permitindo, assim, a elaboração do mapa.

Tabela 6 - Critério para a definição das classes de potencial atual à erosão laminar.

		Classe de ocupação atual dos solos				
		1	2	3	4	5
Classes de suscetibilidade à erosão laminar	1	I	I	I	II	-
	2	I	II	II	III	-
	3	II	II	II	III	-
	4	II	III	III	III	-
	5	III	III	III	III	III

Fonte - SALOMÃO (1999).

Para a qualificação final do potencial à erosão seguiu-se como critério a definição das três classes descritas por Salomão (1999) destacadas a seguir:

- **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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Suscetibilidade erosiva natural

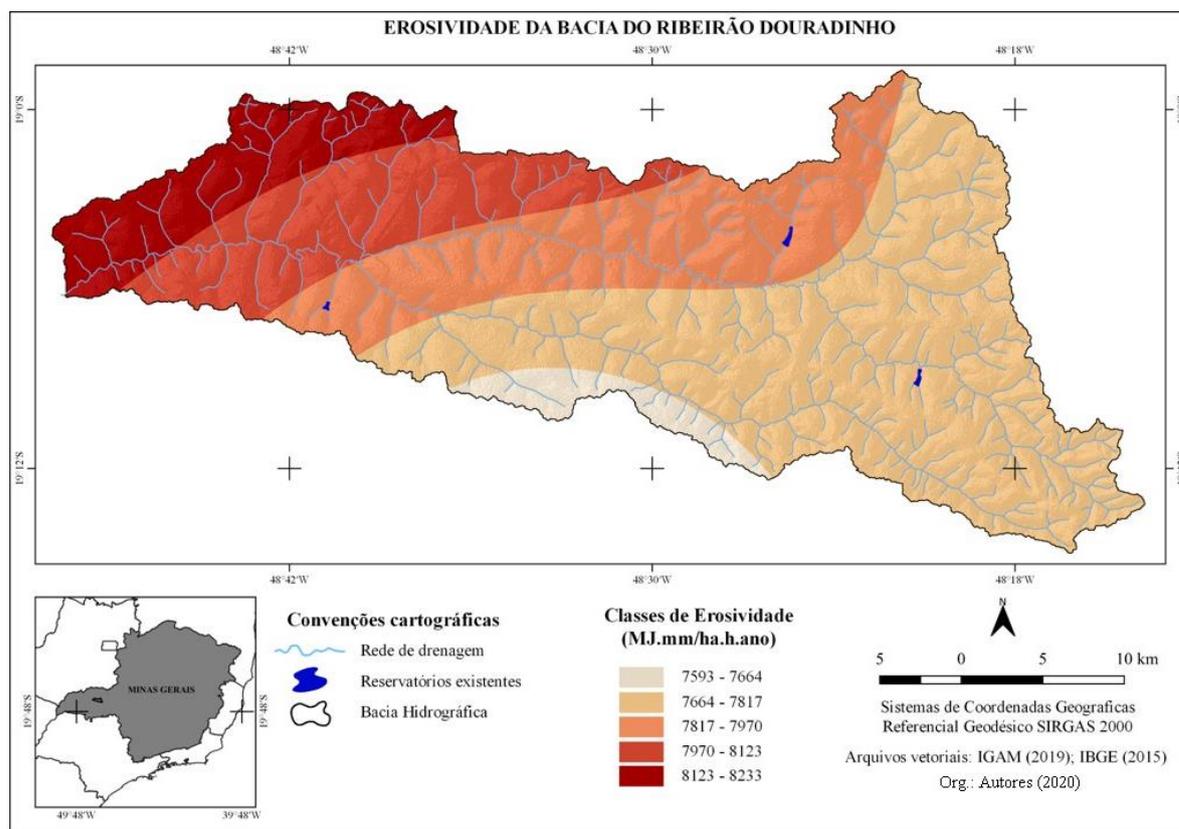
A erosividade das chuvas foi calculada, por meio da equação estabelecida por Bertoni e Lombardi Neto (1993), com base nos dados de precipitação disponibilizados no portal HidroWeb da ANA. Seus

valores estão diretamente relacionados aos de precipitação, uma vez que em seu cálculo são utilizados os dados referentes às médias pluviométricas mensais e anuais.

Para tal, foram analisados dados pluviométricos de cinco estações localizadas próximo ao local estudado, sendo estas: Fazenda Letreiro, Fazenda Paraíso, Fazenda Nossa Senhora Aparecida, Monte Alegre de Minas e Xapetuba.

Os valores anuais de erosividade para as estações variam de 7508,5 a 8507,3 MJ.mm/ha.h.ano, com uma amplitude de 998,8 MJ.mm/ha.h.ano. Para a área da bacia os valores anuais de erosividade variam entre 7593 a 8223 MJ.mm/ha.h.ano e são classificados, segundo Carvalho (2008), como fortes (figura 3).

Figura 3 - Erosividade anual da bacia do Ribeirão Douradinho, 2020.

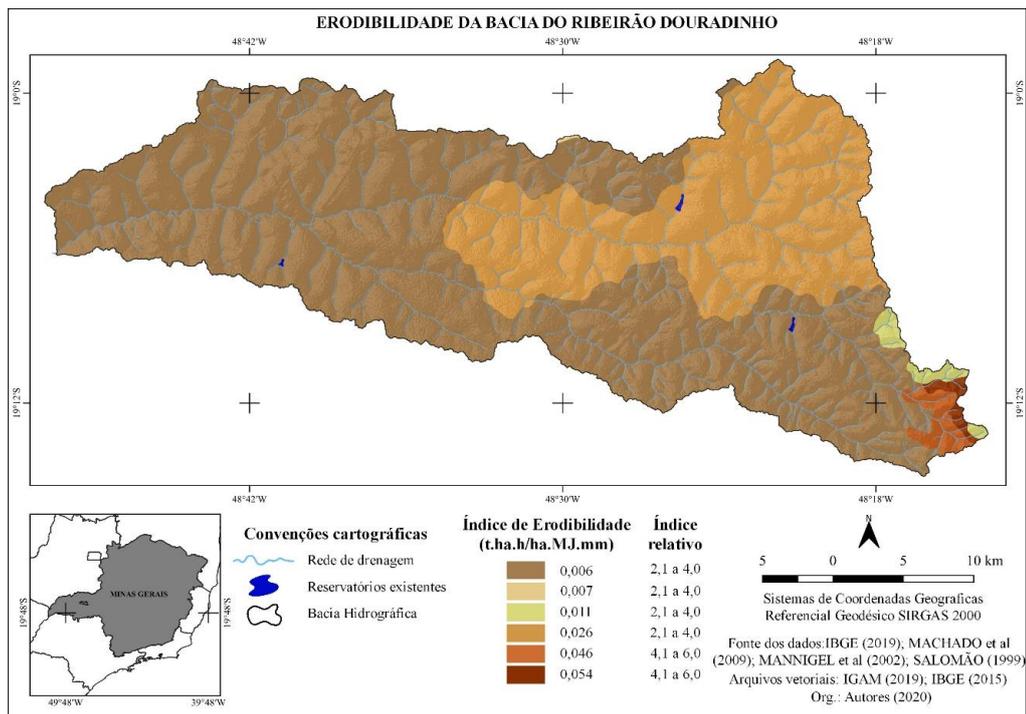


Fonte - Os autores (2020).

Os dados de erodibilidade para a bacia do Ribeirão Douradinho foram obtidos através da comparação e associação de diferentes valores encontrados na literatura a respeito do tema, de locais caracterizados por possuírem tipos pedológicos semelhantes aos da área em questão. Dessa forma, optou-se por dados que foram estabelecidos através de um mesmo método, possibilitando uma maior compatibilidade entre os resultados. Ressalta-se que na área de estudos estão presentes os tipos pedológicos pertencentes à ordem dos Latossolos (L) e Argissolos (P).

Na relativização apresentada por Salomão (1999), a fim de proporcionar o cruzamento dos dados, a erodibilidade dos solos apresenta-se entre os índices relativos de 2,1 a 4,0, pertencente à classe IV (Latossolos de textura média, Latossolos de textura argilosa, Terra Roxa Estruturada) e de 4,1 a 6,0, pertencente à classe III (Podzólicos de textura argilosa). Os valores referentes às classes deste fator foram espacializados na figura 4.

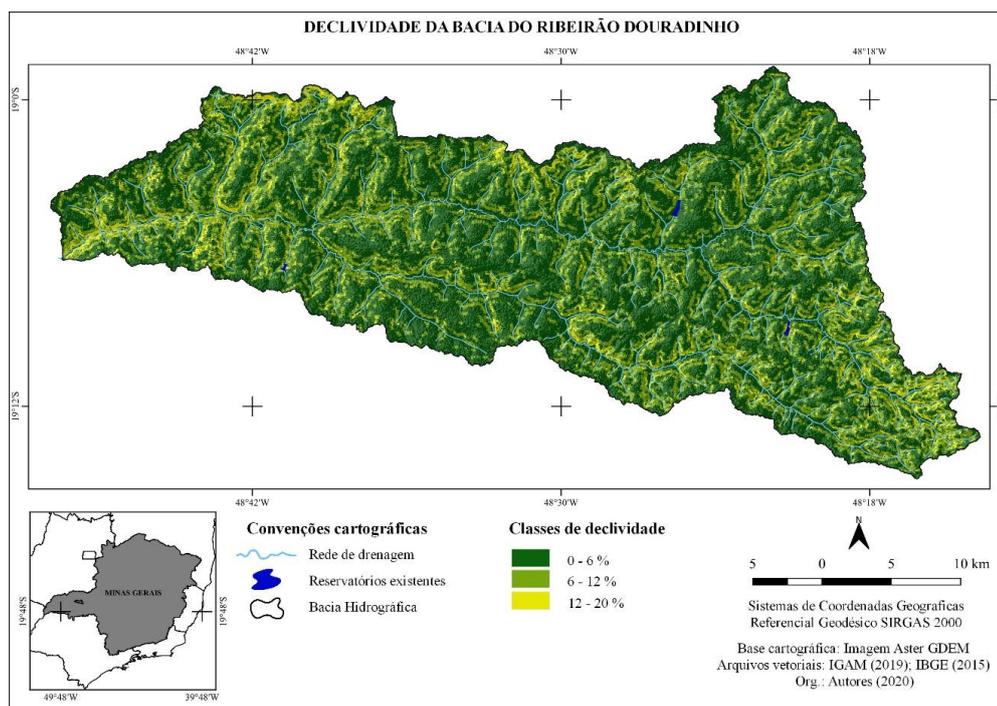
Figura 4 - Erodibilidade anual da bacia do Ribeirão Douradinho, 2020.



Fonte - Os autores (2020).

Na bacia os valores de declividade variam entre 0 e 20%, sendo mais representativos os valores pertencentes às categorias entre 0 e 6% e entre 6 e 12%. Os valores mais elevados encontrados na bacia, entre 12 e 20%, estão concentrados nas nascentes do Ribeirão Água Limpa e ao longo dos canais fluviais (figura 5).

Figura 5 - Declividade da bacia do Ribeirão Douradinho, 2020.

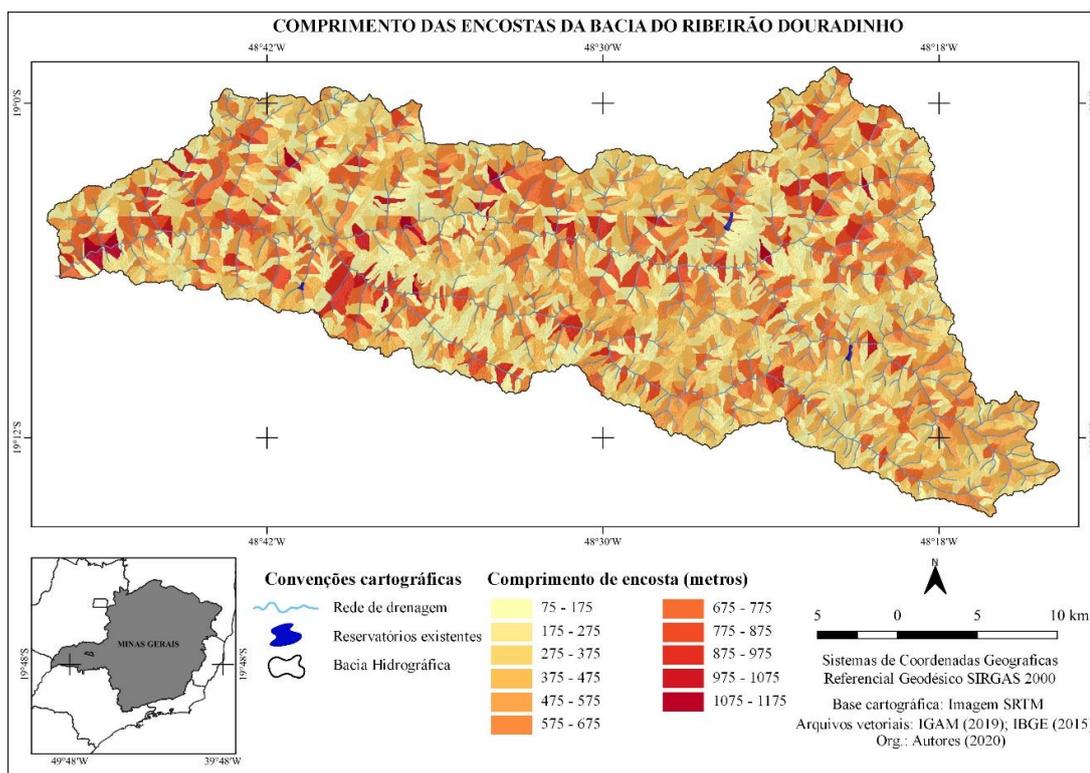


Fonte - Os autores (2020).

Segundo a classificação proposta por Salomão (1999) as categorias de declividade presentes na bacia correspondem à classe IV (menores que 6%), classe III (de 6 a 12%) e à classe II (de 12 a 20%).

Já os valores de comprimento médio das encostas variam entre 75 e 1175 m. Os mais representativos correspondem às categorias de 75 a 175 m (15,96% da área da bacia) e 475 a 575 m (15,19% da área da bacia) (figura 6).

Figura 6 - Comprimento das encostas da bacia do Ribeirão Douradinho, 2020.



Fonte - Os autores (2020).

Na bacia em questão a integração das informações relativas aos fatores de ordem natural resultou em três diferentes classes de suscetibilidade à erosão laminar, sendo essas: muito suscetível (II), moderadamente suscetível (III) e pouco suscetível (IV).

Os valores em km² e em porcentagem para cada uma das classes de suscetibilidade podem ser observados na tabela 7.

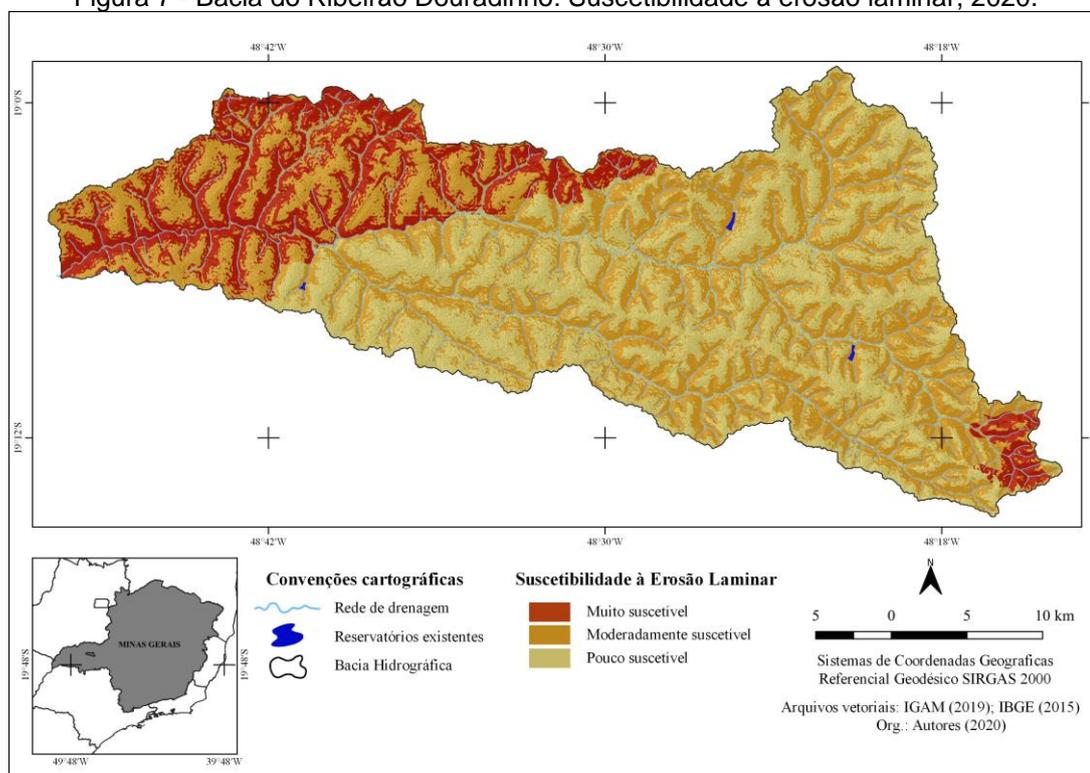
Tabela 7 - Bacia do Ribeirão Douradinho - Distribuição das classes de suscetibilidade em km² e porcentagem.

Categoria	Área em km²	Área em %
Muito suscetível	163,37	17,73
Moderadamente suscetível	434,02	47,06
Pouco suscetível	324,77	35,21

Fonte - Os autores (2020).

Na figura 7 é possível observar a distribuição das classes de suscetibilidade presentes na área de estudo.

Figura 7 - Bacia do Ribeirão Douradinho: Suscetibilidade à erosão laminar, 2020.



Fonte - Os Autores (2020).

Conforme informado anteriormente, a classe II, muito suscetível, corresponde a terrenos que apresentam problemas complexos de conservação. Nas áreas correspondentes a esta categoria de suscetibilidade a ocupação por pastagens é apenas parcialmente favorável, sendo mais apropriadas as atividades voltadas ao reflorestamento (SALOMÃO, 1999).

A classe III, moderadamente suscetível, corresponde também a terrenos com problemas complexos de conservação. Tais áreas são mais indicadas apenas para pastagens e culturas perenes (SALOMÃO, 1999).

A classe IV, pouco suscetível, apresenta os mesmos problemas das classes citadas anteriormente, porém, de acordo com a sua compatibilização às classes de capacidade de uso dos solos, seus terrenos são indicados para pastagens e culturas perenes sendo, eventualmente, indicado para o cultivo de culturas anuais, exigindo, nestes casos, práticas mecanizadas de controle da erosão (SALOMÃO, 1999).

Uso e ocupação atual do solo

Em relação ao uso e ocupação do solo, de acordo com o Projeto TerraClass Cerrado (2015) e ajustes incluídos, a bacia estudada apresenta 8 diferentes categorias, sendo estas: culturas anuais, culturas perenes, silvicultura, pastagem, área urbanizada, cobertura vegetal nativa, estradas e corpos d'água (figura 8).

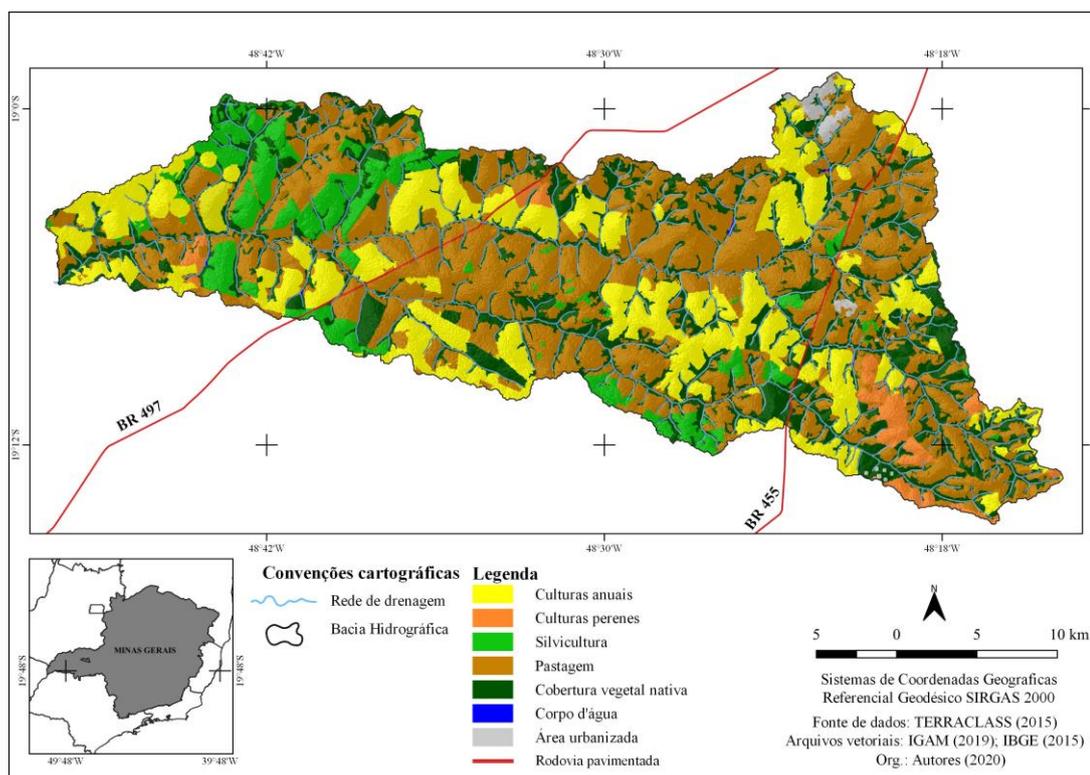
As áreas de pastagens ocupam a maior parte da bacia e são destinadas principalmente à pecuária. Nessa categoria estão incluídas as terras na qual a vegetação é predominantemente gramíneas, plantas graminóides e cobertura arbórea dispersa. Essas áreas encontram-se distribuídas por toda a bacia, mas ocorrem de maneira mais intensa nos setores à montante e no médio curso.

A agricultura, representada pelas culturas anuais e perenes, equivale à segunda maior forma de utilização das terras da bacia. Na área de estudo as culturas anuais, de maior representatividade

dentro desta categoria, são representadas sobretudo pela cultura de cana-de-açúcar e soja, e as culturas perenes representadas pelo cultivo de laranja.

A cobertura vegetal nativa corresponde aos fragmentos florestais distribuídos pela área da bacia. No local estudado estes fragmentos são constituídos principalmente pela vegetação encontrada em Áreas de Preservação Permanente e em áreas de reserva legal, com fisionomias características de Cerrado *Stricto Sensu*, Cerradão, Mata Ciliar, Mata de Galeria e Veredas, encontradas no Domínio dos Cerrados.

Figura 8 - Bacia do Ribeirão Douradinho: Cobertura vegetal e uso do solo, 2020.



Fonte - Os autores (2020).

A silvicultura, na bacia do Ribeirão Douradinho, corresponde às áreas ocupadas por formações florestais artificiais, homogêneas, constituídas pelo plantio de pinus e eucalipto destinados, na região, à produção de madeira e carvão. Mesmo com um declínio em seu valor econômico essa categoria ainda apresenta-se organizada em faixas contínuas principalmente no médio curso e à jusante na bacia.

No local de estudo a categoria de área urbanizada é pouco representativa, aparecendo somente em uma pequena porção da parte nordeste da bacia. As demais áreas ocupadas por edificações, dentro da área da bacia, foram mapeadas e categorizadas como mosaico de ocupações. Estas correspondem às chácaras, granjas e outros imóveis rurais.

Os corpos d'água e as estradas constituem as últimas classes de uso das terras analisadas. A primeira categoria corresponde aos cursos d'água, aos lagos e aos reservatórios existentes na bacia. A categoria das estradas, que se apresenta com um percentual pouco significativo na área de estudo, condiz com as principais rodovias pavimentadas da bacia. As categorias com maiores representatividades na área da bacia correspondem às pastagens (41,52%), à cobertura vegetal nativa (24,30%), às culturas anuais (22,59%) e à silvicultura (8,27%).

Potencial à erosão laminar

Na área de estudos a integração das informações referentes a suscetibilidade à erosão e ao uso e ocupação atual dos solos resultou em três diferentes classes de potencial à erosão laminar. Essas classes são as seguintes: alto potencial (I), médio potencial (II) e baixo potencial (III).

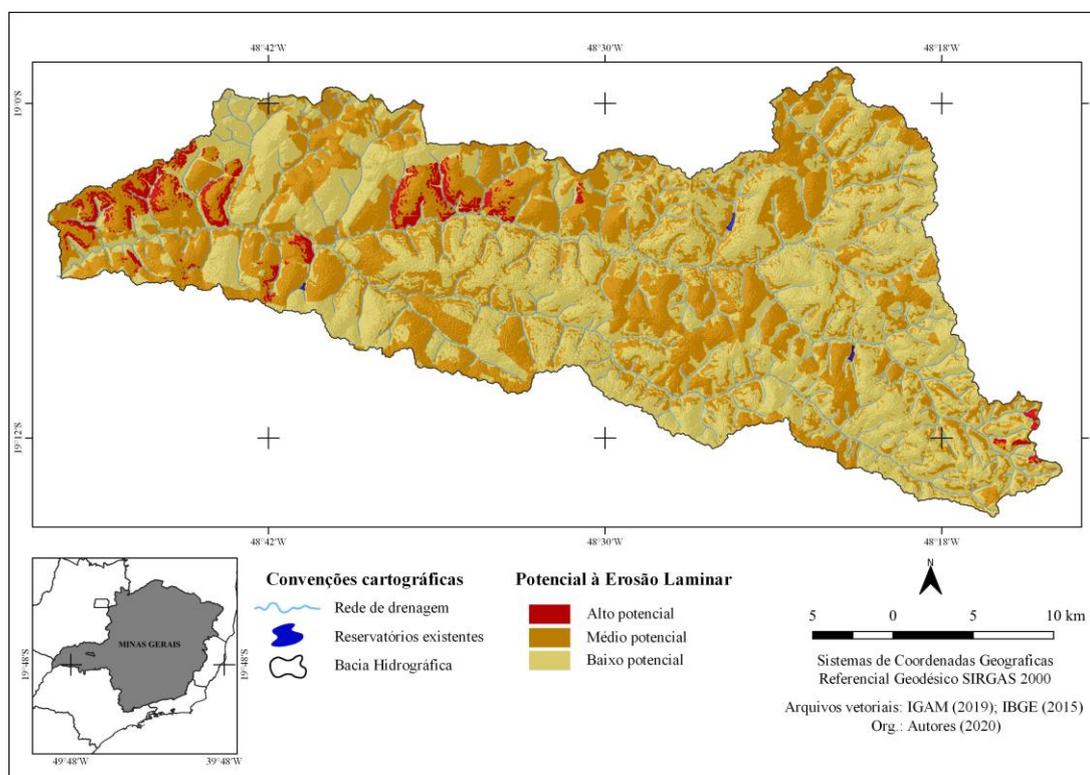
Na tabela 8 é possível observar os valores em km² e em porcentagem, relacionados a cada uma das classes. Já na figura 9 é possível visualizar a distribuição das classes presentes na área de estudo.

Tabela 8 - Bacia do Ribeirão Douradinho - Distribuição das classes de potencial em km² e porcentagem, 2020.

Categoria	Área em km ²	Área em %
Alto potencial	21,47	2,32
Médio potencial	403,81	43,79
Baixo potencial	496,88	53,89

Fonte - Autores (2020).

Figura 9 - Bacia do Ribeirão Douradinho: Potencial à erosão laminar, 2020.



Fonte - Os Autores (2020).

A **classe I**, de alto potencial, é a classe com menor abrangência na área de estudo, ocupando apenas 2,32% da bacia do Ribeirão Douradinho. Essa classe corresponde aos terrenos onde o uso atual do solo é incompatível com o grau de suscetibilidade à erosão laminar. Encontra-se distribuída, em sua maioria, no médio e baixo curso da bacia e, em menor quantidade, nas proximidades das nascentes do Ribeirão Água Limpa.

Na bacia em questão, as áreas de alto potencial abrangem terrenos pertencentes à classe II de suscetibilidade à erosão laminar nos locais onde o uso do solo apresenta cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica intensa, abarcando áreas de culturas anuais, estradas e áreas urbanizadas.

Nos locais classificados como de alto potencial erosivo é recomendável que seja realizada a alteração na forma de ocupação do terreno. Essa alteração pode ser efetuada seguindo as indicações

propostas junto às classes de suscetibilidade, compatibilizadas com as classes de capacidade de uso dos solos.

A **classe II**, de médio potencial, consiste na segunda com maior abrangência na área de estudo, ocupando 43,79 % do seu total. Essa classe refere-se aos terrenos onde o uso atual do solo é incompatível com o grau de suscetibilidade à erosão laminar, entretanto, passível de ser controlada com a aplicação de práticas conservacionistas. Sua distribuição ocorre por toda a bacia e de forma mais intensa no médio e baixo curso. Nessas áreas estão presentes as classes IV, III e II de suscetibilidade à erosão laminar, apresentando, entretanto, diferenças em relação ao uso do solo (figura 10).

No médio potencial erosivo, quando referente à classe IV de suscetibilidade, o uso do solo corresponde aos terrenos com cobertura vegetal de baixo e médio porte com intensa atividade antrópica. Na bacia, esses locais compreendem áreas de culturas anuais, estradas e áreas urbanizadas.

Quando referente à classe III de suscetibilidade o uso do solo corresponde aos terrenos com cobertura vegetal de baixo e médio porte com atividade antrópica de muito reduzida a intensa, abarcando áreas de culturas perenes, pastagens, culturas anuais, estradas e áreas urbanizadas do local estudado.

Figura 10 - Bacia do Ribeirão Douradinho – Cultura anual em classe de suscetibilidade IV (a) e pastagem em classe de suscetibilidade III (b), 2019.



Lat.: 19°08'12.01"S Long.: 48°27'22.27"O



Lat.: 19°10'05.05"S Long.: 48°25'58.01"O

Fonte - Os autores (2019).

No tocante à classe II de suscetibilidade, o uso do solo condiz com os terrenos com cobertura vegetal de baixo e médio porte que apresentam atividade antrópica de muito reduzida a moderada, compreendendo áreas de culturas perenes e pastagens da bacia.

Nessa classe, de médio potencial, os processos erosivos podem ser minimizados e/ou controlados por meio da aplicação de práticas conservacionistas adequadas. Essas práticas têm por concepção “garantir a máxima infiltração e menor escoamento superficial das águas pluviais” (SALOMÃO, 1999, p. 259). As práticas de conservação do solo podem ser agrupadas em três categorias, sendo essas: vegetativas, edáficas e mecânicas.

As práticas de caráter vegetativo são aquelas em que se utiliza a cobertura vegetal como medida de contenção da erosão. De acordo com Salomão (1999), as técnicas mais utilizadas nesta categoria são as seguintes:

- Plantas de cobertura: são responsáveis por manter o solo coberto entre as culturas durante o período chuvoso. Normalmente são utilizadas em culturas permanentes cobrindo os espaços deixados no terreno. Em culturas anuais, essa técnica visa complementar o efeito de cobertura já proporcionado pelas plantas cultivadas;

- Cultura em faixas: é o plantio em faixas de exploração contínua ou em rotação que tem como objetivo principal a interceptação da velocidade das enxurradas, facilitando a infiltração das águas e permitindo a contenção do solo parcialmente erodido;
- Cordões de vegetação permanente: são fileiras de plantas perenes ou semiperenes dispostas com determinado espaçamento e sempre em contorno. Essa técnica apresenta um comportamento de controle da erosão semelhante ao da cultura em faixas.
- Alternância de capinas: são intercalações nas capinas de maneira a manter parcelas da área em cultivo, com mato, imediatamente abaixo de outra recém-capinada. Seu efeito no controle da erosão assemelha-se ao observado na cultura de faixa e cordões de vegetação permanente.

As práticas de caráter edáfico são as responsáveis por manter ou melhorar as condições de fertilidade do solo, controlando, indiretamente, o processo de erosão. Segundo Salomão (1999), entre essas práticas destacam-se as seguintes:

- Adubação verde e plantio direto: consiste na incorporação de nitrogênio e matéria orgânica no solo, através do aterro de restos vegetais ainda verdes. O húmus produzido melhora as condições físicas do solo pela estruturação e aumento da porosidade;
- Adubação química: é a manutenção e restauração da fertilidade do solo, que proporciona o aumento de produtividade e uma melhor cobertura vegetal;
- Adubação orgânica: corresponde à incorporação da matéria orgânica no solo, pela aplicação de produtos como o esterco e o composto orgânico;
- Rotação de cultura: consiste no plantio de diferentes tipos de lavouras numa mesma gleba, visando o controle de doenças e pragas e a melhoria das características físicas do solo. Nessa rotação incluem-se plantas que esgotam, recuperam ou conservam os solos;
- Calagem: é a correção da acidez do solo por meio da aplicação de cálcio, proporcionando uma melhor cobertura vegetal do solo, protegendo-o contra a erosão.

As práticas de caráter mecânico são aquelas artificialmente desenvolvidas através da execução de estruturas em canais e aterros, como o propósito de controlar o escoamento superficial das águas e facilitar a sua infiltração. De acordo com Salomão (1999), dentre essas destacam-se:

- Plantio em contorno (em nível): constitui-se na marcação no terreno de curvas de nível e execução em espaços estabelecidos de sulcos e camalhões de terra. As fileiras de culturas e os sulcos e camalhões, acompanhando as curvas de nível, constituem um obstáculo que se contrapõem ao percurso das enxurradas;
- Terraceamento: consiste em um tipo especial de sulco ou canal e camalhão, visando, além da interceptação da água das enxurradas, a condução de seu excesso pelo canal criado;
- Canais escoadouros: são canais de dimensões apropriadas, vegetadas, que tem como função transportar com segurança a água de escoamento superficial oriunda dos sistemas de terraceamento ou de outras estruturas.

A **classe III**, de baixo potencial erosivo, representa os terrenos em que o uso atual do solo/cobertura vegetal é compatível com o grau de suscetibilidade à erosão laminar. Na bacia essa classe ocupa uma maior extensão territorial quando comparada às demais, 53,89% no total. Sua distribuição ocorre por toda a área estudada, apresentando-se de forma mais expressiva no alto e médio curso. Essas áreas englobam, também, terrenos das classes IV, III e II de suscetibilidade à erosão laminar, combinados com diferentes tipos de uso do solo (figura 11).

Figura 11 - Bacia do Ribeirão Douradinho - Pastagem em classe de suscetibilidade IV (a) e cobertura vegetal nativa em classe de suscetibilidade III (b), 2019.



(a)

Lat.: 19°04'11.30"S Long.: 48°21'18.44"O



(b)

Lat.: 19°10'10.37"S Long.: 48°23'22.52"O

Fonte - Os autores (2019).

Nessa classe de potencial erosivo, quando relacionada à classe IV de suscetibilidade, o uso do solo corresponde aos terrenos com cobertura vegetal de alto, médio e baixo porte, com atividade antrópica de muito reduzida à moderada, compreendendo, desta forma, áreas de cobertura vegetal nativa, de silvicultura, de culturas perenes e de pastagem da bacia.

Quando relacionada à classe III e II de suscetibilidade o uso do solo corresponde aos terrenos com cobertura vegetal de alto a médio porte, com atividade antrópica muito reduzida, abarcando áreas de cobertura vegetal nativa e de silvicultura do local estudado.

Em síntese, a classe III (baixo potencial) representa os locais na bacia com pouca propensão ao processo de erosão laminar. Nela estão presentes os três diferentes níveis de suscetibilidade erosiva, ressaltando, desta forma, a importância da densidade da cobertura vegetal para a proteção dos solos, para a estabilidade de seus agregados e para a minimização dos riscos aos processos erosivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constata-se que, em razão das interferências e das modificações realizadas pela ação econômica/atuação antrópica, 46,11% da área total da bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho, no Triângulo Mineiro, apresentam um uso atual do solo incompatível com o grau de suscetibilidade à erosão. Esses terrenos enquadram-se entre as classes de médio e alto potencial erosivo, evidenciando os locais onde são necessárias adequações quanto ao uso/manejo dos solos e a aplicação de práticas conservacionistas adequadas.

Ressalta-se que o conhecimento dos fatores de ordem natural e econômica, utilizado para a determinação da suscetibilidade e do potencial erosivo dos solos, torna-se indispensável e deve ser amplamente considerado para a tomada de decisão quanto à forma de uso e ocupação dos terrenos.

A metodologia adotada no desenvolvimento desse trabalho, baseada no cruzamento de informações e dados, mostrou-se apropriada e eficaz no cumprimento dos objetivos propostos. A adoção do Geoprocessamento como ferramenta de análise foi de suma importância, pois permitiu, por meio do desenvolvimento de materiais cartográficos e temáticos no *software* QGIS 3.4.15, a elaboração do diagnóstico de atuação potencial da erosão laminar na bacia.

Após essas constatações, é notável a necessidade de aplicação de práticas conservacionistas em diversas áreas da bacia, práticas como as já citadas anteriormente, visando um uso mais adequado e sustentável dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidro Web**: Séries históricas. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 30 de mar. 2020.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3ª edição, São Paulo: Editora Ícone, 1993.
- CARVALHO, E. M.; LEITE, E. F. Erosividade e Erodibilidade na Bacia Hidrográfica do Córrego JOÃO Dias, Aquidauana/MS. **Revista Geografar**. Curitiba, v.10, n.2, p.88-111, dez./2015. <https://doi.org/10.5380/geografar.v10i2.41583>
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J.K.S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. (orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 225 – 256.
- GUIMARÃES, L. J. R.; SANTOS, L. J. C. L. Levantamento das áreas potenciais à erosão laminar como suporte à detecção das áreas-fonte ao assoreamento na barragem Piraquara1. **Revista Eletrônica Geografar**. v.2, p.172-188, 2007. <https://doi.org/10.5380/geografar.v2i2.12106>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geociências**: Informações ambientais. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 25 de mar. 2020.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo**, Bacia do Pardo Grande. São Paulo: IPT, v.3. 1990.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Base cartográficas digitais**: Hidrografia. Disponível em: < <http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/1312-hidrografia>>. Acesso em: 27 de mar. 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto TerraClass Cerrado 2013**: Mapeamento do uso e cobertura da terra do Cerrado. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/>>. Acesso em: 07 de mar. 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Topodata**: Banco de dados geomorfométricos do Brasil. Mapa índice. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 31 de mar. 2020.
- LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 1983.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2.ed. Oficina de Texto, São Paulo, 2010. 216 p.
- MACHADO, M. L. et al. Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (resultados parciais). **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, 2009, p. 7733-7739.
- MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda de solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. p. 1335 – 1340, v. 24, n. 5. Maringá. 2002. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2374>
- PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**. V.56, p.28-33, 2004. <https://doi.org/10.14393/rbcv56n1-43499>
- PAUL, C. R.; WERLANG, M. K. Análise da predisposição à erosão laminar (entressulcos) em um planossolo na várzea do Agudo, Agudo-RS. **Ciência e Natureza**. Santa Maria, p.211-237, v. 34, n. 2, dez. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/viewFile/9350/5501>>. Acesso em: 05 ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X9350>
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO R. G. M. (orgs.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 7. 1999, p. 229-267.

TERRACLASS. **Mapeamento do uso e cobertura da terra do Cerrado**. Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília-DF, 2015. 69 p.

VILLELA, S. M. MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, MacGraw Hill do Brasil, 1975. 247p.

Recebido em: 02/09/2021

Aceito para publicação em: 29/03/2022