

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - MG

Instituto de Ciências da Natureza

Curso de Geografia – Bacharelado

BRUNO AURÉLIO SILVA

**ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO PELO MÉTODO DA
EPM EM ÁREAS TROPICAIS**



Alfenas – MG

2024

BRUNO AURÉLIO SILVA

**ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO PELO MÉTODO DA
EPM EM ÁREAS TROPICAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia pelo Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas- MG, sob orientação do Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato.

Alfenas – MG
2024

BANCA EXAMINADORA

Titulação, nome completo e instituição do Orientador

Titulação, nome completo e instituição do Avaliador 01

Titulação, nome completo e instituição do Avaliador 02

Alfenas (MG), __/__/____

Resultado

"Somente o que produzimos em nosso caráter durante a vida podemos levar conosco."

Alexander Von Humboldt.

"Dedico este trabalho a mim mesmo, aos meus amigos e à minha família, cujo apoio foi fundamental para tornar este momento tão esperado em uma realidade."

AGRADECIMENTOS

Aos queridos professores da graduação,

É com imensa gratidão que dedico este momento aos mestres que moldaram meu percurso acadêmico. Cada um de vocês foi fundamental para que eu alcançasse esta etapa tão significativa. Seu apoio, orientação e conhecimento foram pilares essenciais em minha jornada.

À minha família,

Expresso meu profundo agradecimento, especialmente à minha avó, Maria Célia da Silva. Sua constante presença, apoio inabalável e amor incondicional foram meu sustento nos momentos desafiadores. Sou imensamente grato por sua presença em minha vida.

Ao orientador, Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato,

Sua orientação firme, conhecimento vasto e dedicação foram cruciais não apenas para o desenvolvimento deste trabalho, mas também para o meu conhecimento em pesquisa. Sou profundamente grato por sua orientação durante minha iniciação científica e ao longo deste TCC.

Aos prestativos colegas de laboratório, Guilherme Rios e Derielsen,

Não poderia deixar de reconhecer a importância de sua colaboração e apoio durante todo o processo de pesquisa.

A todos os amigos que cruzaram meu caminho em Alfenas - MG,

Vocês foram luzes em minha jornada, tornando os desafios mais leves e os momentos de alegria mais intensos. Em especial, aos amigos da república (Guilherme, Raul, Maycon, João, Pedro e Lucas), cuja presença diária foi um conforto e uma alegria constante em meu dia a dia.

Por fim, à Universidade Federal de Alfenas e todos os que a compõem,

Agradeço por proporcionarem o ambiente propício para o desenvolvimento acadêmico e pessoal. Cada experiência vivida nesta instituição contribuiu significativamente para minha formação. Sou grato por fazer parte desta comunidade acadêmica.

RESUMO

A erosão hídrica é um fenômeno natural que influencia a paisagem em regiões tropicais e temperadas, porém, sua intensificação pela ação humana tem se tornado uma preocupação global devido aos impactos negativos que causa nos solos e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Este estudo se concentra na medição das perdas de solo por erosão hídrica na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Pedra Branca, localizada em Alfenas, MG, utilizando o Método de Erosão Potencial (EPM). O EPM considera diversos fatores, incluindo precipitação média anual, temperatura média e intensidade da erosão, para calcular as perdas de solo. Em 2023, a sub-bacia do córrego Pedra Branca apresentou uma suscetibilidade à perda de solo total de 10.000 t ano⁻¹, com uma média de perda de solo de 3,7 t ha⁻¹ ano⁻¹. Esses resultados destacam a importância de entender e mitigar os efeitos da erosão hídrica para garantir a sustentabilidade dos recursos naturais e das atividades agrícolas na região. Este estudo contribui para o conhecimento científico e pode orientar medidas de conservação e manejo do solo para reduzir os impactos da erosão hídrica.

Palavra-chave: Erosão hídrica; Sub-bacia hidrográfica; Modelagem de Erosão Hídrica; Solos Tropicais; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Water erosion is a natural phenomenon that influences landscape in tropical and temperate regions; however, its intensification due to human action has become a global concern due to the negative impacts it causes on soils and the sustainability of agricultural systems. This study focuses on measuring soil losses from water erosion in the Pedra Branca Stream Watershed, located in Alfenas, MG, using the Potential Erosion Method (EPM). EPM considers various factors, including average annual precipitation, average temperature, and erosion intensity, to calculate soil losses. In 2023, the Pedra Branca Stream watershed showed a susceptibility to total soil loss of 10,000 t year⁻¹, with an average soil loss of 3.7 t ha⁻¹ year⁻¹. These results highlight the importance of understanding and mitigating the effects of water erosion to ensure the sustainability of natural resources and agricultural activities in the region. This study contributes to scientific knowledge and can guide soil conservation and management measures to reduce the impacts of water erosion.

Keywords: Modeling of Water Erosion; Water erosion; Watershed; Potential Erosion Method (EPM) Sustainability; Tropical Soils.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo - Córrego Pedra Branca.....	20
Figura 2 - Modelo Digital de Elevação (MDE).....	22
Figura 3 - Declividade (%) da área de estudo.....	23
Figura 4 - Mapa de uso e manejo do solo na bacia hidrográfica do córrego da Pedra Branca.....	26
Figura 5 - Mapa da distribuição da perda de solo da sub-bacia hidrográfica do córrego Pedra Branca.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metodologias aplicadas para as análises laboratoriais	23
Tabela 2 - Fatores utilizados para o cálculo da perda de solo pelo EPM.....	24
Tabela 3 - Feições erosivas e coeficiente que expressa a erosão observada em campo (ϕ).....	25
Tabela 4 - Valores médios para os coeficientes de uso e manejo (X_a), erosão observada (ϕ) e resistência do solo (Y).....	25
Tabela 5 - Perda média do solo de acordo com o uso e cobertura.....	30

LISTA DE SIGLAS

COOXUPÉ - (Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda)

D - Diferença de elevação da sub-bacia

EPM - Método de Erosão Potencial

Gyr - Perda média do solo

Hyr - Precipitação média

Isr - Declividade média

Lv - Comprimento do córrego principal

LVd1 - Latossolos Vermelhos distróficos, em relevo plano

LVd2 - Latossolos Vermelhos distróficos, em relevo suave ondulado

LVd3 - Latossolos Vermelhos distróficos, em relevo ondulado

MDE - Modelo Digital de Elevação

O - Comprimento da sub-bacia

Ru - Coeficiente de retenção de sedimentos

RUSLE - Equação Universal de Perdas de Solo Revisada

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIV - Solos Indiscriminados de Várzea, em relevo plano

T - Coeficiente de temperatura

To - Temperatura média do ar

TPS - Tolerância de Perda de Solo

Xa - Uso e manejo do solo

Y - Resistência do solo em relação à erosão hídrica

Z - Coeficiente de erosão

ϕ : Erosão observada em campo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	JUSTIFICATIVA	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1	DEGRADAÇÃO DO SOLO E EROÇÃO HÍDRICA	17
4.2	MÉTODO DE EROÇÃO POTENCIAL E TOLERÂNCIA DA PERDA DO SOLO	17
5	METODOLOGIA	20
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	20
5.2	MATERIAIS	21
5.3	MÉTODOS	24
6	RESULTADOS	27
7	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um fenômeno natural responsável por modelar a paisagem em regiões tropicais e temperadas. No entanto, esse fenômeno é acentuado pela ação antrópica e é considerado a principal causa de degradação dos solos (Sakuno *et al.*, 2020), que pode causar diversos impactos negativos e comprometer a sustentabilidade da produção dos sistemas agrícolas.

O total de perdas de solo gerados por esse processo no Brasil é estimado em cerca de 850 milhões de Mg ano⁻¹ (Merten; Minella, 2013), com um custo anual de 1,3 bilhão de dólares (Decchen *et al.*, 2015). A erosão hídrica causa a perda da estrutura do solo, da matéria orgânica, de nutrientes e de sedimentos. Gera também o assoreamento, a eutrofização e a poluição dos recursos hídricos (Guerra, 2014; Posthumus *et al.*, 2015; Lense *et al.*, 2023;). Esse processo é intensificado devido ao escoamento inapropriado, à irrigação inadequada, ao pastoreio excessivo e à ausência de manejos conservacionistas.

O uso planejado do solo evita prejuízos econômicos e ambientais, então contribui de maneira preventiva, evitando a intervenção por meio de procedimentos de recuperação total da área que, em sua maioria, não são realizados devido ao elevado custo. Para isso, o auxílio de modelos e ferramentas de Sistemas de Informação Geográficas (SIG) podem contribuir para variados tipos de planejamento (Bolfe *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2017).

Para determinar as perdas de solo pela erosão hídrica e as áreas mais susceptíveis à degradação, os métodos convencionais que envolvem experimentos de campo são caros e demandam longos períodos de análise. Além disso, pode ser impraticável implementar esses procedimentos em escala de bacia hidrográfica (Ganasri; Ramesh, 2016; Efthimiou *et al.*, 2017). Portanto, o uso de técnicas de modelagem pode ajudar a superar essas limitações e obter resultados precisos e eficazes.

Os modelos de erosão são fáceis de interpretar, requerem poucos recursos e podem ser executados com as informações disponíveis em bancos de dados públicos. Estes modelos, quando combinados com Sistemas de Informação Geográfica, permitem a espacialização dos resultados e a identificação de áreas com potenciais riscos de erosão, e contribuem para elaboração de planos de mitigação de impactos (Ganasri e Ramesh, 2016; Efthimiou *et al.*, 2016).

Gavrilovic (1988) desenvolveu o Método de Erosão Potencial (EPM), que é um modelo semi-empírico baseado em estudos exploratórios, analíticos e laboratoriais. Esse

método permite a elaboração detalhada dos índices que caracterizam os processos de erosão hídrica. A metodologia, desenvolvido para os Balcãs, já foi aplicado em vários continentes com sucesso e resultados validados. Porém, a aplicação deste modelo no Brasil ainda não é muito difundida e apresenta poucos estudos desenvolvidos (Tavares *et al.*, 2019; Sakuno *et al.*; 2020).

Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar as perdas de solo na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Pedra Branca, Alfenas – MG, pelo método da EPM, utilizando técnicas de geoprocessamento, para identificar as áreas prioritárias para a adoção de práticas de conservação do solo e de redução das áreas degradadas.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estimar as perdas de solo por erosão hídrica na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Pedra Branca, no Município de Alfenas, Região Sul do Estado de Minas Gerais, utilizando o Método de Erosão Potencial – EPM.

2.2. Objetivos específicos

- a) Desenvolver uma base de dados cartográficos georreferenciados sobre a área de estudo;
- b) Levantamento e estudo da literatura relacionada ao tema central e treinamento nos procedimentos relacionados à pesquisa, para atualização conceitual e metodológica;
- c) Produzir mapas temáticos das unidades físicas que demonstrem a área e auxiliem o estudo referente aos componentes: pedológico, hipsométrico, declividade, mata ciliar e uso e ocupação do solo;
- d) Atualização dos dados cartográficos de cobertura, de uso do solo e comparação com dados de período anterior, a partir de técnicas de fotointerpretação, geoprocessamento e sensoriamento remoto.

3 JUSTIFICATIVA

A agricultura possui um papel fundamental em Minas Gerais, apresentando destaque para a produção de café, em que o Estado é considerado o principal produtor do grão no país. No entanto, nota-se que grande parte da produção agrícola da região ainda se caracteriza por modelos convencionais e intensivos de cultivo, gerando impactos significativos nas propriedades físicoquímicas e biológicas do solo, o que, a longo prazo, pode prejudicar a continuidade dos cultivos agrícolas no Estado.

Herzog *et al.* (2020) chamam a atenção para o fato de que o setor cafeeiro tem passado por consideráveis transições, havendo a inclusão de tecnologias importantes para aumentar a produtividade, no entanto, essas práticas não são suficientes para garantir a sustentabilidade do sistema produtivo se, paralelamente, não se considerar o manejo conservacionista dos recursos naturais.

Diante disso, o desenvolvimento de métodos que ajudem na manutenção da qualidade e da produtividade dos cultivos agrícolas são essenciais. Tais métodos auxiliam na elaboração de políticas públicas junto aos produtores, com o intuito de conscientizá-los sobre a implementação de práticas conservacionistas e diminuição de impactos ambientais. As ações conservacionistas também são essenciais no que diz respeito à proteção dos recursos hídricos que, quando assoreados, comprometem o potencial de produção energética da região, neste caso o potencial da Usina Hidrelétrica de Furnas (Ayer *et al.*, 2015).

A estimativa da erosão hídrica com o método da EPM possui grande relevância científica, pois além da contribuição à sociedade, novos estudos poderão ser desenvolvidos comparando o resultado com outros métodos e validando a eficácia do método. Além disso, esta pesquisa contribui para aumentar o desenvolvimento econômico e a segurança alimentar nutricional da população em geral.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 DEGRADAÇÃO DO SOLO E EROSÃO HÍDRICA

De acordo com Lepsch (2011), a formação dos solos é resultado da interação de processos geomorfológicos, climáticos, geológicos, biológicos e pedológicos, atuando em conjunto por meio de cinco fatores: o clima, os organismos, o material de origem, o relevo e o tempo. A relação destes fatores facilitou a caracterização e a individualização de manuais de levantamentos de solo que, em essência, são similares em todo o mundo, garantindo métodos precisos para descrição de propriedades e formas de amostras de solo, como o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, adaptado do sistema americano de classificação de solos dos Estados Unidos da América (Soil Taxonomy), que é a classificação mais disseminada no mundo (USDA, 2006; Santos *et al.*, 2018).

Diversos fatores, como o manejo inadequado, a compactação, a redução do teor de matéria orgânica, o desmatamento e o uso indiscriminado de defensivos agrícolas, influenciam diretamente na qualidade do solo. A partir destes fatores, os processos erosivos, movimentos de massa, acidificação, entre outros impactos ambientais, são capazes de reduzir a capacidade produtiva e a qualidade do solo e da água (Capeche *et al.*, 2008; Guerra, 2014).

O processo erosivo mais comum nas regiões tropicais é a erosão hídrica, que faz parte do ciclo hidrossedimentológico. Este ciclo possui três fases básicas: a remoção, o transporte e a sedimentação de partículas de solo em regiões mais baixas e planas ou ainda em fundos de rios, lagos e reservatórios. Se não forem aplicadas técnicas de recuperação de áreas degradadas, estes processos podem causar severos impactos econômicos e ambientais, causando perda do potencial produtivo do solo (Guerra, 2014).

4.2 MÉTODO DE EROSÃO POTENCIAL E TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO

A formação do solo ocorre de maneira lenta, podendo variar de 200 a 1.000 anos para formar solo em condições de lavoura com 2,5 cm de espessura, tendo esse período aumentado sob condições de pastagem e florestas. O fato apresentado pode comprometer o desenvolvimento agrícola do campo, pois solos degradados têm sua produtividade diminuída e conseqüentemente prejudicam o crescimento econômico e a segurança alimentar e nutricional do território nacional (Pimentel *et al.*, 1995). Sabe-se que a erosão hídrica é a

principal causa de degradação dos solos tropicais e, por isso, modelos de estimativas das taxas de perda do solo são importantes para que medidas de proteção e conservação do solo sejam propostas.

A quantificação da erosão tem sido desenvolvida por meio da aplicação de diversos modelos observando-se os padrões de erosão, precipitação, temperatura, relevo, uso e ocupação das terras e práticas conservacionistas. Neste sentido, o modelo EPM, desenvolvido por Gavrilovic (1988), tem o objetivo de verificar a formação e o deslocamento anual de sedimentos, assim como o formato e a intensidade erosiva, considerando alguns fatores da bacia hidrográfica como a área, forma, comprimento e sinuosidade do curso d'água principal e , rede de drenagem, extensão média de escoamento superficial, densidade de drenagem e amplitude altimétrica.

A aplicação deste modelo no Brasil ainda não é muito difundida, com poucos estudos desenvolvidos (Tavares *et al.*, 2019; Sakuno *et al.*; 2020), mas nos últimos 30 anos, o método já demonstrou sua adequação em países da Europa, do Oriente Médio e do norte da África (Globevnik *et al.*, 2003; Spalevic, 2011; Bozorgzadeh; Kamani, 2012;Kojchevska, 2014; Kastridis; Kamperidou, 2015; Vujacic; Spalevic, 2016; Dragicevic; Karleusa; Ozanic, 2016).

Para a utilização do método EPM, são essenciais informações como os tipos de solo, rocha, topografia, clima e uso do solo. Tais parâmetros são necessários para a EPM, utilizados como dados de entrada identificação dos fatores nas equações específicas para a modelagem.

São quatro os fatores utilizados área de drenagem, precipitação total anual, temperatura média anual e coeficiente de erosão (Kouhpeima; Hashemi; Feizn, 2011). A aplicação do método EPM para modelagem da erosão hídrica em sub-bacias hidrográficas no Brasil permitiu a identificação de áreas com perdas de solo acima da Tolerância de Perda de Solo – TPS (Bertol; Almeida, 2000).

A TPS pode ser definida como um parâmetro que indica qual o máximo valor da taxa de erosão que permite que uma produção agrícola seja considerada sustentável, sendo esses valores variáveis de acordo com o tipo de solo e relevo (Pinto *et al.*, 2020). De acordo com os autores, áreas com perdas abaixo dos limites de TPS devem ampliar as suas práticas conservacionistas para garantir a sustentabilidade do solo a longo prazo.

A aplicação da TPS identifica áreas que estão sofrendo erosão acentuadas para cada classe de solo, sendo bastante relacionada como um parâmetro sustentável. Bertol e Almeida (2000), desenvolveram um método para o cálculo da TPS, que utiliza uma quantidade maior de atributos, como a densidade do solo, a profundidade efetiva, a relação textural entre os

horizontes B e A; o teor de argila do horizonte A, o grau de permeabilidade do solo e o teor de matéria orgânica, e por esses motivos, é o método mais utilizado no Brasil.

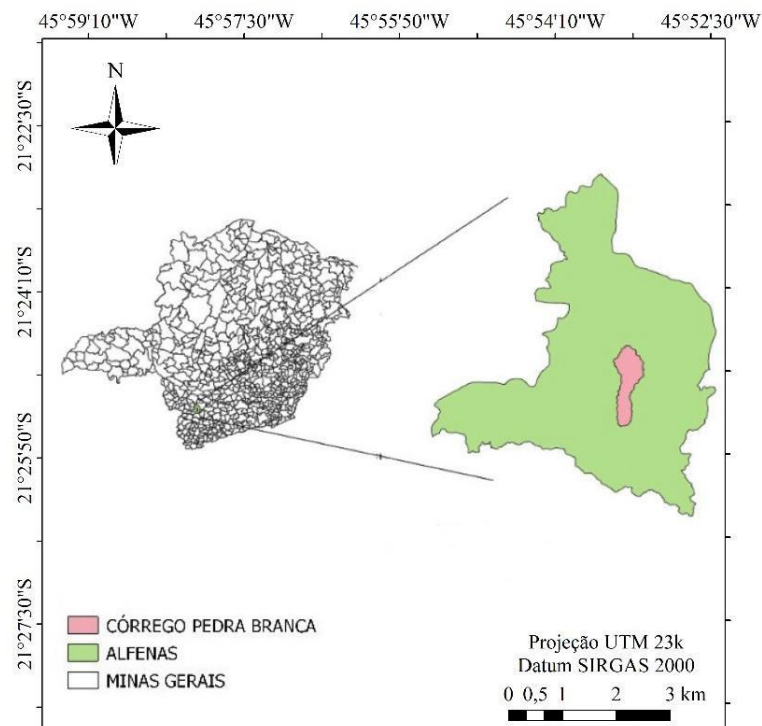
Quando o resultado mostra que há perdas de solo acima da TPS, significa que possivelmente a área esteja em situação de degradação pelos processos erosivos, desequilíbrio ecológico e conseqüentemente há a diminuição da produtividade dos sistemas agrícolas.

5 METODOLOGIA

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área da sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca está delimitada pelas coordenadas $21^{\circ} 20'$ a $21^{\circ} 30'$ S e $45^{\circ} 55'$ a $46^{\circ} 00'$ W, Datum SIRGAS 2000, zona 23k no Município de Alfenas (Figura 1). Esta região abrange altitudes variando de 920 a 780 metros e possui uma extensão de 2.641,56 ha. Pertencente à Bacia do Rio Grande, o Córrego Pedra Branca é um afluente do reservatório de Furnas. O clima é classificado como Tropical Mesotérmico (CwB) de acordo com a classificação de Köppen.(referência)

Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo - Córrego Pedra Branca.



Fonte: Autor (2024)

A sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca abriga uma formação geológica antiga, caracterizada por elevações de contornos arredondados, vertentes longas, vales abertos e pequenos desnivelamentos locais. Essa região é predominantemente composta por gnaisses charnoquíticos e granulíticos polimetamórficos do período proterozóico, conforme descrito por Hasui (2010), contribuindo para a constituição do planalto Sul de Minas. Quanto aos solos presentes na área da sub-bacia, destacam-se os Latossolos Vermelhos distróficos (LVd1) em terrenos planos (0 a 3%), LVd2 em terrenos suavemente ondulados (3 a 8%), LVd3 em áreas

onduladas (8 a 20%) e Solos Indiscriminados de Várzea (SIV). Solos Indiscriminados de Várzea (SIV) são uma categoria de solos encontrados em áreas de várzea, comuns em regiões de planícies aluviais e deltas de rios. Esses solos são caracterizados pela sua formação recente, geralmente resultante de deposição de sedimentos aluviais durante inundações periódicas. Eles tendem a ter uma textura argilosa, rica em matéria orgânica e nutrientes, devido à constante renovação trazida pelas cheias dos rios.

A expressão "indiscriminados" refere-se à falta de distinção nítida entre os diferentes tipos de solos que compõem a várzea. Esses solos são frequentemente utilizados para atividades agrícolas, devido à sua fertilidade natural, mas também apresentam desafios, como a suscetibilidade à erosão e à salinização, dependendo das práticas de manejo adotadas. (Silva et al., 2018)

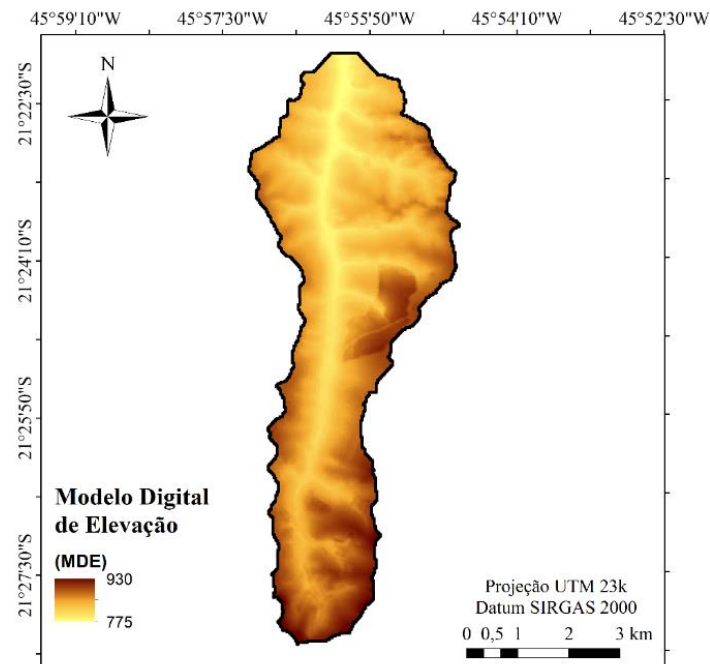
Os solos foram detalhadamente caracterizados *in loco*, conforme descrito por Lemos *et al.* (2005). Em cada unidade mapeada, Ayer (2014) coletou quatro amostras, sendo uma sob cobertura de mata nativa e três sob uso agropecuário, todas na profundidade de 0 a 20 cm. Essas amostras foram analisadas para determinação dos atributos físicos, químicos e morfológicos dos solos, abrangendo aspectos como cor (segundo Munssel), textura (pelo método do densímetro, com e sem dispersante NaOH), índice de floculação (conforme Embrapa, 1998), permeabilidade do solo à água (segundo Zhang, 1997; Dane & Topp, 2002), estabilidade de agregados (pelo método de tamisamento em água, Kemper & Rosenau, 1986), e a partir destas análises, foram calculados os diâmetros médios geométrico (DMG) e médio ponderado (DMP) (Kemper & Chepil, 1965). No que diz respeito ao complexo sortivo, foram determinados parâmetros como pH em água com KCl e CaCl₂ (relação 1:2,5), Ca-Mg-Al com extrator KC1 1 mol L⁻¹, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC-T) a pH 7,0, capacidade de troca catiônica efetiva (CTC-t), matéria orgânica (MO) por oxidação com Na₂Cr₂O₇ 2 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹, índice de saturação de alumínio (m), fósforo remanescente (P-rem), H+Al com extrator SMP e índice de saturação de bases (V) (conforme Embrapa, 1998).

5.2 MATERIAIS

O mapeamento digital de solos foi fundamentado na variação topográfica, considerada como um fator determinante na formação do solo (Mcbratney *et al.*, 2003). Este processo envolveu descrições morfológicas e análises laboratoriais físicas e químicas. Para realizar essa

abordagem, utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) (Figura 2), que foi gerado com a interpolação das curvas de nível em uma resolução de 30 metros por pixel, a partir da Carta Topográfica de Alfenas (IBGE, 1970).

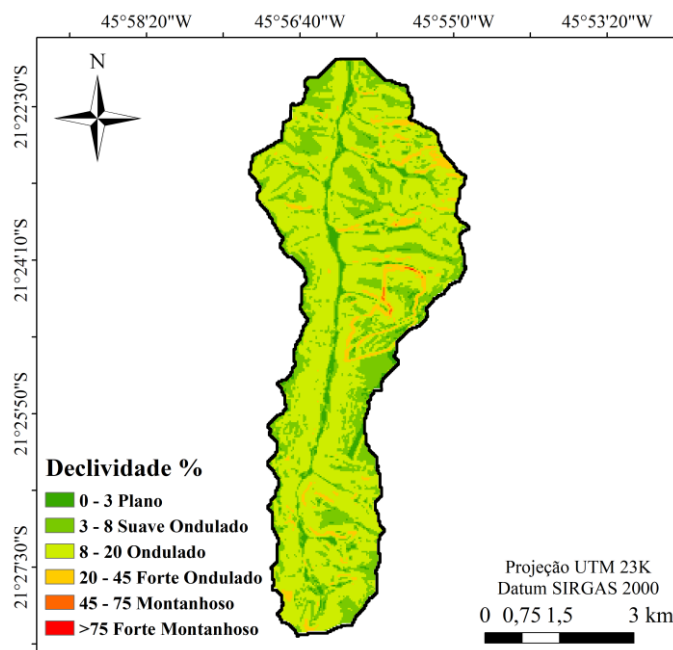
Figura 2. Modelo Digital de Elevação (MDE).



Fonte: Autor (2024)

A ferramenta Topo to Raster do programa ARCGIS 10.8 (ESRI, 2020) foi empregada para verificar a variação topográfica da região. As categorias de relevo, conforme classificação do IBGE (2015), foram extraídas do mapa de declividade (Figura 3) utilizando a ferramenta Slope do ARCGIS 10.8.

Figura 3. Declividade (%) da área de estudo.



Fonte: Autor (2024)

As amostras de solo foram coletadas durante os meses de março e abril de 2016, seguindo o protocolo estabelecido por Santos *et al.* (2015). Em cada uma das três classes de relevo, tanto em áreas de mata nativa quanto em cultivo de café, foram adquiridas amostras deformadas, indeformadas em cilindro (com volume de 92,53 cm³) e indeformadas em torrão, nas profundidades de 0-20 cm e 20-60 cm. A caracterização morfológica dos atributos físicos foi realizada em microtrincheiras de 40 x 40 x 60 cm em cada um dos dezoito locais amostrados. A tabela 1 indica a forma como análises laboratoriais foram realizadas.

Tabela 1. Metodologias aplicadas para as análises laboratoriais

Análise	Metodologia aplicada
Determinação da textura granulométrica	Método da pipeta, com e sem adição de NaOH 1 mol L ⁻¹ (Black, 1986).
Densidade do solo	Anel Volumétrico (Black, 1986).
Porosidade total	Método proposto por Danielson e Sutherland (1986).
Microporosidade	Mesa de tensão de 60cm
Macroporosidade	Diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Grohmann, 1960).
Matéria orgânica	Calorimetria na oxidação de Na ₂ Cr ₂ O ₇ 1 mol L ⁻¹ e H ₂ SO ₄ 5 mol L ⁻¹ .

A permeabilidade do solo foi avaliada *in situ* utilizando o Infiltrômetro Mini Disk da Decagon Devices, com taxa de sucção de 2 cm (Zhang, 1997). Três repetições foram realizadas em cada um dos dezoito locais amostrados. A classificação da permeabilidade

considerou tanto a textura quanto a estrutura do solo (SSDS, 1993; Galindo e Margolis, 1989), seguindo as diretrizes de classificação dos solos estabelecidas pela EMBRAPA (2013).

O mapa de uso do solo foi elaborado a partir de imagens do satélite Landsat-8 Thematic Mapper (TM), nas bandas TM6, TM5 e TM4 (órbita/ponto 219/75), obtidas no United States Geological Survey (USGS), e as análises dessas imagens foram conduzidas no ARCGIS 10.8 (ESRI, 2020).

5.3 MÉTODOS

Os fatores utilizados para calcular as perdas de solo no Método de Erosão Potencial (EPM) são apresentados na Tabela 1 (explicar a equação 1). Esses coeficientes abrangem a precipitação média anual, a temperatura média (como indicado na Tabela 1, Equação II), e a intensidade da erosão (descrita na Tabela 1, Equação III). Além disso, eles quantificam os sedimentos retidos no relevo e aqueles que alcançam o deflúvio, conforme especificado na Tabela 2, Equação IV.

Tabela 2. Equações utilizadas para o cálculo da perda de solo pelo EPM.

I	$Gyr = T * Hyr * \pi * \sqrt{Z^3} * Ru$
II	$T = \sqrt{\frac{To}{10}} + 0,1$
III	$Z = Y * Xa * (\varphi + \sqrt{Isr})$
IV	$Ru = \frac{(O * D)^{0,5}}{0,25 * (Lv * 10)}$

Fonte: Adaptado de Gavrilovic (1988) e De vent e Poesen (2005).

Gyr: Perda média do solo ($m^3Km^{-2}ano^{-1}$); T: Coeficiente de temperatura (Adm*); Hyr: Precipitação média ($mmano^{-1}$); Z: Coeficiente de erosão (Adm*); Ru: Coeficiente de retenção de sedimentos (Adm*); To: Temperatura média do ar ($^{\circ}C\ ano^{-1}$); Y: Resistência do solo em relação à erosão hídrica (Adm*); Xa: Uso e manejo do solo (Adm*); φ : Erosão observada em campo (Adm*); Isr: Declividade média (%); O: Comprimento da sub-bacia (km); D: Diferença de elevação da sub-bacia (m); Lv: Comprimento do córrego principal. Adm*: Adimensional.

A resistência do solo à erosão hídrica (Y) varia de acordo com seus atributos, conforme destacado por Panagos *et al.* (2015). Gavrilovic (1988) estabeleceu valores compreendidos entre 0,25 e 2,00, os quais representam a capacidade do solo em resistir à

desagregação e remoção de partículas, levando em consideração as características do material de origem e do substrato rochoso (Tangestani, 2006).

O coeficiente de erosão observada em campo (ϕ) reflete a presença de feições erosivas associadas aos diferentes usos do solo. Os valores variam de 0,01, indicando erosão laminar de grau fraco, a 1,00, representando erosão laminar progredida e feições de erosão linear severa, incluindo ravinas e voçorocas. Na área de estudo, os valores foram atribuídos conforme a ocorrência de feições erosivas em cada tipo de uso, considerando a cobertura vegetal e o manejo do solo, sendo: floresta 0,1; silvicultura 0,3; pastagem 0,5; urbano 0,0; solo exposto 0,7; área alagada 0,0; café 0,4; agricultura 0,3 (Tabela 3).

Tabela 3. Feições erosivas e coeficiente que expressa a erosão observada em campo (ϕ).

Tipo de erosão (ϕ)	
Área com erosão severa (Voçoroca, erosão em sulcos pesadas)	1,0
Erosão em sulco intensa	0,9
Erosão em sulco média	0,8
Erosão laminar intensa	0,7
Erosão laminar sem sinais visíveis	0,6
Erosão laminar média	0,5
Erosão laminar leve	0,3
Áreas com erosão nas margens do curso d'água	0,2
Áreas agrícolas sob erosão não aparente	0,15
Áreas cobertas por vegetação nativa	0,1

Fonte: Adaptado de Gavrilovic (1962) e Sakuno *et al.* (2020).

O coeficiente de uso e manejo do solo (X_a) é menor em áreas que adotam boas práticas de conservação do solo e possuem cobertura vegetal, especialmente em zonas agrícolas (Zorn; Komac, 2009). Na área de pesquisa, foram definidos valores específicos para diferentes classes de uso e manejo, sendo: floresta 0,05; silvicultura 0,4; pastagem 0,3; urbano 0,0; solo exposto 1,0; área alagada 0,0; café 0,7; agricultura 0,4 (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios para os coeficientes de uso e manejo (X_a), erosão observada (ϕ) e resistência do solo (Y).

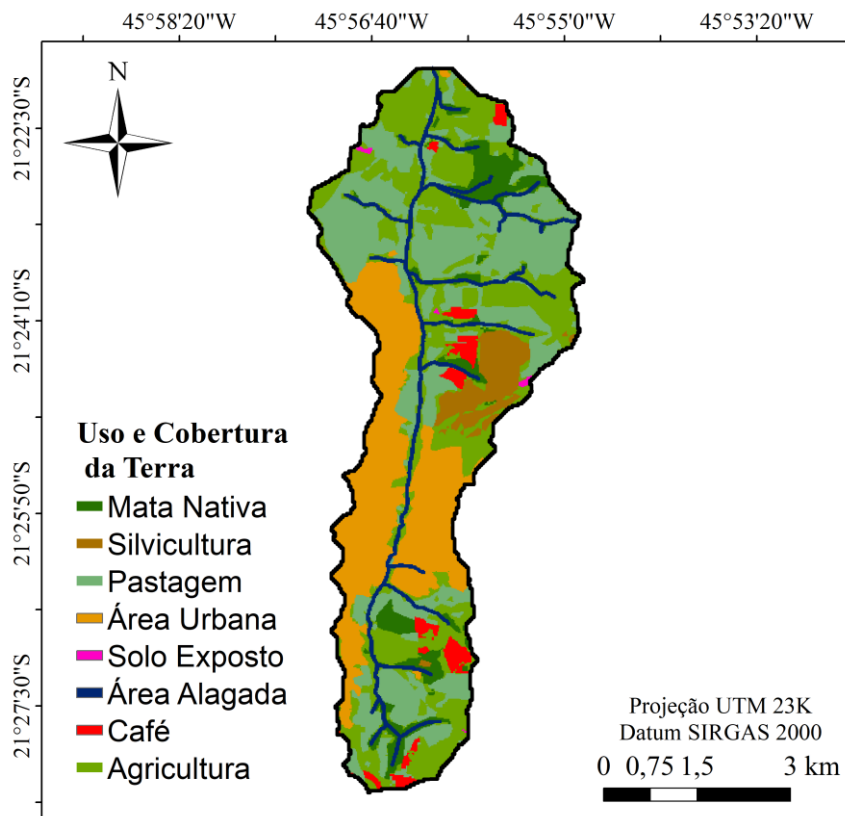
Uso e Manejo	Área (ha)	X_a	Erosão	ϕ	Solos	Y
Floresta	153,989	0,05	Áreas coberta por vegetação nativa	0,1	LVd1	0,9
Silvicultura	116,85	0,4	Erosão laminar leve	0,3	LVd2	0,9
Pastagem	777,57	0,5	Erosão laminar média	0,5	LVd3	0,9
Urbano	592,674	0,0	-	0,0		
Solo exposto	4,494	1,0	Erosão laminar	0,7		

			sem sinais visíveis			
Área alagada	175,245	0,0	-	0,0		
Café	73,506	0,7	Erosão laminar média	0,4		
Agricultura	747,845	0,4	Erosão laminar leve	0,3		
MÉDIA		0,38125	Média	0,2875	Média	0,9

Fonte: Autor (2024)

Os dados de cobertura e uso do solo (Figura 4) na sub-bacia do Córrego Pedra Branca foram adquiridos do portal MapBiomas coleção 8, com a finalidade de mapear e compreender as mudanças na superfície terrestre ao longo do tempo.

Figura 4. Mapa de uso e manejo do solo na bacia hidrográfica do córrego da Pedra Branca.



Fonte: Autor (2024)

O mapeamento da cobertura e uso do solo consiste em identificar e classificar as diferentes categorias de ocupação da superfície terrestre. Essas categorias abrangem desde áreas naturais, como florestas e corpos d'água, até áreas antropizadas, como zonas urbanas e agrícolas. A altura média da lâmina de água (hb) foi determinada com base na média anual de

precipitação, que foi de 107,825 mm no ano de 2023. Esses dados foram obtidos a partir das informações anuais de uma estação pluviométrica, fornecidas pela COOXUPÉ (Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda). Posteriormente, a distribuição dessas perdas de solo foi mapeada no ARCGIS 10.8 (Esri, 2020), usando a ferramenta Raster Calculator, resultando na elaboração do mapa final de perdas de solo.

6 RESULTADOS

Sub-bacias hidrográficas são ambientes ideais para avaliar os impactos da erosão hídrica, pois representam sistemas abertos onde nem toda a água precipitada é escoada ou infiltrada, ocorrendo perdas intermediárias por evaporação ou evapotranspiração. Neste estudo, a Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Pedra Branca, em Alfenas, sul de Minas Gerais, foi examinada, sendo um afluente da Sub-bacia do Rio Grande e desaguando no reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas.

Na área de estudo, o substrato geológico é composto por granada-biotita gnaisses e biotita gnaisses, que, sob as condições de formação do solo, tendem a gerar solos espessos, bem desenvolvidos e ricos em argilas cauliníticas, apresentando baixa suscetibilidade à erosão natural.

A erosão hídrica é influenciada pelos usos e práticas adotados na agropecuária. A intensificação da erosão ocorre especialmente em terrenos com declividades acentuadas e maior comprimento de rampa ou fluxo de escoamento. A implementação de práticas conservacionistas, como a maximização da cobertura vegetal e a redução do comprimento de rampa, sobretudo em declividades mais pronunciadas e em áreas com cultivos intensivos, torna-se essencial para garantir a sustentabilidade agrícola e ambiental dos ecossistemas terrestres. A redução do comprimento de rampa pode diminuir o efeito erosivo, pois reduz a velocidade de escoamento e aumenta a taxa de infiltração da água no solo.

Nessa região, as práticas agrícolas incluem o cultivo de café em nível, cultivos anuais em plantio direto, como milho e soja e o plantio de eucalipto em declives mais acentuados. A

avaliação do estado de degradação do solo é essencial para a sustentabilidade agrícola, sendo necessário propor alternativas que minimizem os efeitos da erosão, visto que os prejuízos econômicos e ambientais aumentam progressivamente.

Assim, a resistência do solo à erosão hídrica (Y) nas classes de solo foi avaliada com uma média de 0,9, indicando uma boa capacidade de resistência, conforme definido por Gavrilovic (1988). Esta avaliação leva em consideração as características físicas do solo e do substrato rochoso.

A estrutura do solo foi classificada como média com blocos subangulares nas classes de solo LVd1 e LVd2, enquanto em LVd3 a estrutura foi considerada fraca com blocos subangulares. A consistência foi ligeiramente plástica para LVd1 e LVd2, e plástica para LVd3. Os teores de argila variaram de 58,40% a 60,70%, classificando a textura como argilosa a muito argilosa. A densidade média dos solos foi de $1,15 \text{ Mg m}^{-3}$, sem grandes variações em profundidade, favorecendo a permeabilidade do solo (Arshad *et al.*, 1996).

Ayer (2014), avaliando a mesma área do presente estudo, indicou que para a unidade LVd3 é possível observar uma perda concentrada de solo mais acentuada, devido a maior declividade e outros fatores associados. De acordo com o autor, 87% dessa região encontrava-se com erosão acima do limite de TPS

A permeabilidade foi considerada lenta, com valor de 1,00, devido à textura argilosa a muito argilosa e à estrutura em blocos subangulares, conforme as diretrizes de classificação de permeabilidade (Galindo; Margolis, 1989; SSDS, 1993). O alto grau metamórfico dos litotipos biotita gnaisses e granada-biotita gnaisses indica um substrato rochoso com permeabilidade de grau médio.

No ano de 2023, a sub-bacia do córrego Pedra Branca apresentou perda de solos total de $10.000 \text{ t ano}^{-1}$, distribuídas em várias áreas ao longo da sub-bacia e a média de perda de solo foi de $3,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Ayer (2014) realizou um estudo na mesma região e observou que as perdas de solo totais foram de $13.200 \text{ t ano}^{-1}$ e a perda média foi estimada em $4,7 \text{ t. ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Esses valores apresentados por Ayer (2014) demonstram-se superiores ao resultado do estudo atual, indicando que, nessa área, práticas conservacionistas e cultivos mais sustentáveis podem estar sendo realizados, de modo que a cobertura do solo seja preservada e, conseqüentemente, os processos erosivos sejam reduzidos. Outro fator que pode ter contribuído para as diferenças encontradas é que no trabalho de Ayer (2014) foi utilizado o método RUSLE para avaliação da perda de solos e essa metodologia tende a superestimar os valores de perda do solo, enquanto o uso da EPM, normalmente subestima esses totais.

Tavares *et al.* (2019) avaliaram a aplicação dos métodos EPM e RUSLE para a estimativa da perda de solo no município de Alfenas, Minas Gerais. Os autores observaram que o método EPM sugeriu uma perda média de solo anual variou de 0,009 a 5,50 Mg. ha⁻¹ ano⁻¹ ao passo que pelo RUSLE esses valores foram estimados entre 0,4 e 18,64 Mg. ha⁻¹ ano⁻¹. Essas diferenças podem ser justificadas devido os fatores utilizados na obtenção das estimativas de perdas de solo serem calculados de maneira diferente. Nesse sentido, Tavares *et al.* (2019) indicam a necessidade de novos estudos com foco na calibração e comparação dos parâmetros correspondentes nos dois modelos. Porém, de modo geral, ambos os métodos apresentam espacializações similares e, portanto, podem ser utilizados para estimativas de erosão em bacias hidrográficas.

Sob essa mesma ótica, Sakuno *et al.* (2020) concluíram que as estimativas das taxas de perda do solo, tanto pelo método EPM como pela RUSLE, são consistentes e servem como orientação para áreas que adotam medidas de conservação. Porém, os autores observam que normalmente os valores da EPM são inferiores ao RUSLE, o que pode ser explicado pela dificuldade na obtenção dos fatores C (uso e manejo do solo) e P (vigência de práticas conservacionistas) da RUSLE. As dificuldades em obter os valores dos fatores P e C no método da RUSLE incluem a disponibilidade limitada de dados, a variação das práticas agrícolas, a subjetividade na avaliação, as mudanças ao longo do tempo e a complexidade do sistema. Para superar esses desafios, é necessário utilizar uma variedade de fontes de dados, incluindo observações, modelagem e conhecimento especializado, além de atualizar regularmente as informações para refletir as mudanças nas práticas de manejo do solo e práticas conservacionistas.

A média do coeficiente de uso e manejo (Xa) no Método de Erosão Potencial (EPM), calculada em 0,38, sugere um manejo eficaz no uso do solo, possivelmente devido à implementação de práticas de conservação, como o plantio em nível e direto. O coeficiente de cobertura vegetal foi registrado como 0,05, indicando uma cobertura vegetal adequada e eficaz na proteção do solo.

Ayer (2014) avaliou as taxas de erosão sob manejos convencionais e conservacionistas na região do córrego da Pedra Branca. O autor demonstrou que a utilização de práticas e manejos conservacionistas contribui para a preservação de recursos naturais e para a maior sustentabilidade econômica, social e ambiental das produções agrícolas.

Denchen *et al.* (2015) indicam que a cobertura do solo pode reduzir em até 50% as perdas médias, quando comparado a um solo descoberto. Sendo assim, o processo erosivo

está diretamente relacionado ao manejo adequado do solo e às práticas conservacionistas. Frente ao exposto, indica-se que as práticas agrícolas sustentáveis podem contribuir, a longo prazo, para a manutenção e conservação desse ambiente.

A média para o coeficiente de erosão observada no campo (ϕ) foi de 0,28, o que aponta predominantemente a ocorrência de erosão laminar de grau leve, com variações de intensidade de acordo com as condições do solo, permeabilidade, declividade, uso e manejo.

As taxas mais baixas de perda de solo estão relacionadas às áreas de pastagem e floresta, registrando entre 4,5 e 5,41 t ha⁻¹ ano⁻¹, assim como nas áreas de plantio direto de café, silvicultura e agricultura, com variação entre 5,7 e 7,7 t ha⁻¹ ano⁻¹ e uma média de 6,6 t ha⁻¹ ano⁻¹. Ao contrário do que foi observado por Ayer (2014), onde as áreas de pastagem representaram as maiores perdas de solo, com valores de 6,9 t ha⁻¹ ano⁻¹. Esses resultados destacam e reforçam a eficácia das práticas de manejo conservacionistas e a presença de cobertura vegetal nativa ao longo das margens dos recursos hídricos (Tabela 5).

Tabela 5. Perda média do solo de acordo com o uso e cobertura.

Uso e Cobertura	Perda média (t-ha⁻¹ano⁻¹)
Floresta	4,49
Silvicultura	6,5
Pastagem	5,41
Urbano	0
Solo exposto	9,34
Hidro área alagada	0
Cafeicultura	7,7
Agricultura	5,7
Média perda solo (ano⁻¹)	3,8

Fonte: Autor (2024)

Segundo as avaliações do Método de Erosão Potencial (EPM), as áreas florestais foram identificadas com um grau de erosão muito fraca. Áreas cobertas por vegetação nativa receberam o valor de 0,1. Nas áreas com solos expostos, foi atribuído o coeficiente de 0,7, caracterizando erosão laminar sem sinais visíveis. O coeficiente de intensidade da erosão (Z) variou entre 0,01 e 1,93, indicando uma predominância da categoria IV de degradação, caracterizada por intensidade fraca. Nas áreas de florestas, as taxas de erosão situaram-se entre 0,01 e 0,03, correspondendo à categoria V, caracterizada por intensidade muito fraca, o que contribui para atenuar a intensidade das perdas de solo.

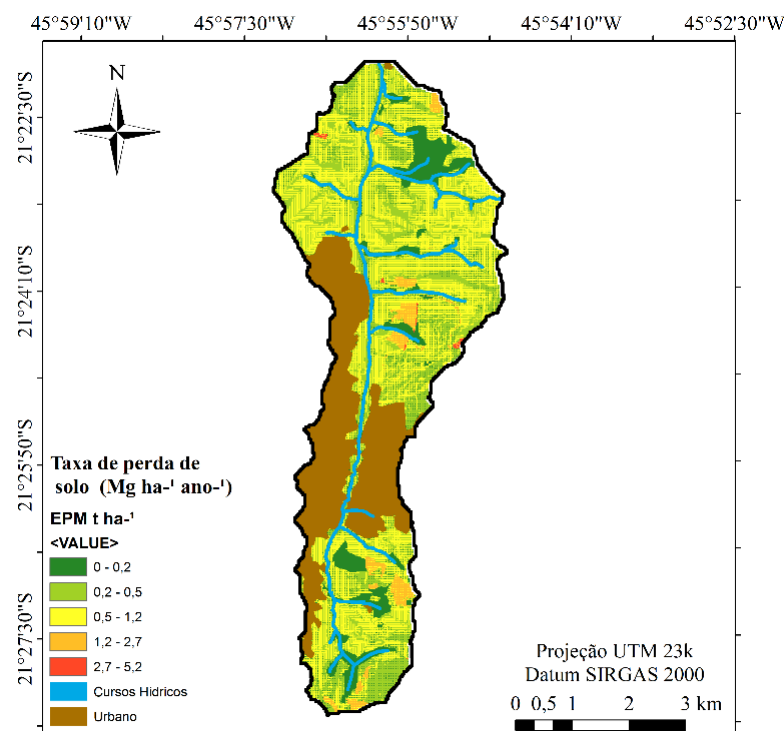
As áreas de solos expostos exibiram as taxas mais elevadas de perda de solo, alcançando $9,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Esses valores podem ser atribuídos à ausência de cobertura vegetal, à inclinação do terreno e à intensa movimentação de pessoas e pisoteio de gado, fatores que diminuem a macroporosidade do solo e aumentam o escoamento superficial.

Destaca-se que as vias de acesso com solos expostos apresentaram a maior intensidade de erosão, com um valor de 1,0. Essas áreas são categorizadas como pertencentes à categoria II de degradação, caracterizada por erosão severa. Apesar de ocuparem a menor área entre os diversos usos, as vias de acesso exercem a maior contribuição para a intensidade da erosão, evidenciando a necessidade de implementação de práticas de conservação do solo nesses locais.

O mapa das perdas de solo gerado pelo modelo EPM foi categorizado de acordo com a classificação proposta por Beskow *et al.* (2009) (Figura 5). As perdas de solo abrangeram uma faixa de <1 a $25 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com uma média de 3,7 toneladas por ano.

O mapeamento detalhado do processo erosivo é uma ferramenta fundamental para a definição de práticas conservacionistas adequadas e para a redução nos índices de perda do solo, principalmente quando se trata de bacias hidrográficas (Tiecher *et al.*, 2017).

Figura 5. Mapa da distribuição da perda de solo da sub-bacia hidrográfica do córrego pedra branca.



Fonte: Autor (2024)

Desse modo, o estudo evidencia a importância da aplicação de tecnologias como o Método de Erosão Potencial para identificar e quantificar os impactos causados sob as diversas classes de uso e ocupação do solo, contribuindo para a orientação de práticas de manejo conservacionistas, redução da degradação edáfica e aumento da sustentabilidade agrícola

7 CONCLUSÃO

Foi empregado o Método de Erosão Potencial (EPM), utilizando equações matemáticas para determinar fatores envolvidos na erosão hídrica, espacializar e quantificar as perdas de solo este método, apoiado por sensoriamento remoto, técnicas de geoprocessamento e dados da literatura, permitiu estimar perdas de solo variando entre 0,0 a 10,000 t ano⁻¹, com média de 3,8 t ha⁻¹ ano⁻¹.

A redução das taxas de perda de solo pode ser alcançada por meio de práticas mecânicas como o terraceamento, plantio em nível ou em faixas, construção de canais escoadouros e terraços de base estreita, contribuindo para diminuir a intensidade da erosão ao reduzir volume e velocidade do escoamento superficial.

No entanto, o uso de práticas vegetativas e edáficas para a preservação da cobertura vegetal têm se destacado como o principal fator de proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva, responsáveis pela desagregação das partículas edáficas, reduzindo o escoamento superficial e aumentando as taxas de infiltração hídrica.

Em suma, a modelagem da erosão hídrica pelo EPM foi fundamental para avaliar o estado de degradação do solo em escala de bacia hidrográfica, oferecendo estimativas de perdas de solo que servem como indicadores ambientais essenciais. Esses resultados são fundamentais aos gestores públicos e privados para implementarem práticas de manejo do solo e maximizarem a cobertura vegetal, mitigando assim a intensificação dos processos erosivos e objetivando a sustentabilidade ambiental e a manutenção da produção agrícola

REFERÊNCIAS

- ARSHAD, M.A., LOWERY, B., GROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: Doran, J.W., Jones, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America (SSSA Special Publication), v. 49, p. 123-141, 1996.
- AYER, J.E.B. 2014. **Estimativa da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do córrego pedra branca, município de Alfenas – MG, a partir da equação universal de perdas de solo revisada**. 53p. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alfenas. 53p.
- BESKOW, S. et al. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena*, v. 79, p. 49-59, 2009.
- BLACK, C. A. Methods of Soil Analysis. Part. I: physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison: **Soil Science Society of America**, v.28, 1986.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: Klute, A. Methods of soil analysis. Part 1. **American Society of Agronomy**, v. 2, p. 363-375, 1986.
- BOLFE, E. L.; MATIAS, L. F.; FERREIRA, M. C. Sistemas de Informação Geográfica: Uma Abordagem Contextualizada na História. *Geografia*, v. 33, p. 69-88, 2008.
- DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part I, Madison, ed. 2, **American Society of Agronomy**, p. 443-461, 1986.
- DECCHEN, S. C. F. et al. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. *Bragantia*, v. 74, p. 224-233, 2015 <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>
- EFTHIMIOU, N., LYKOUDI, E., PANAGOULIA, D., KARAVITIS, C. Assessment of soil Susceptibility to Erosion using the EPM and RUSLE Models: the case of Venetikos River Catchment. *Global NEST Journal*, v.18, p. 164-179, 2016.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Índices Pluviométricos em Minas Gerais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas. 2010.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. In: Santos, H. G. dos (*et al.*). Brasília, DF: Embrapa Solos. 2013.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. **Inc. ARCGIS Professional GIS** for the desktop version 10.3. Software. 2015.
- GALINDO, I.C.L.; MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, p.95-100, 1989.
- GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, v. 7, p. 953-961, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>

- GAVRILOVIC, S. **The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams.** In: White, W. R. (ed.), *International Conference on River Regime*, p. 411– 422, 1988.
- GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 19, p. 319-328, 1960.
- GUERRA, A.J.T. 2014. **Degradação dos solos - Conceitos e temas.** In: Guerra, A.J.T.; Jorge, M.C.O. *Degradação dos solos no Brasil*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 320p.
- HERZOG, T. T., SILVA, M. B. D.; FACCO, A. G. Análise Do Índice Desustentabilidade Da Produção De Café Conilon. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, 2020.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica do Município de Alfenas (FOLHA SF 23-1-1-3)**. Ed.1, Rio de Janeiro, 1970
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. Ed. 3, Rio de Janeiro: IBGE, p. 430, 2015.
- LENSE, G. H. E. et al. Avaliação do limite de tolerância à perda de solo para Latossolos, Argissolos e Cambissolos no sul de Minas Gerais. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 11, p. 1–6, 2019. <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2019.15893>.
- MCBRATNEY, A. B. M.; SANTOS, L. M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2023.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, v.1, p.37-48, 2013. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30029-0](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30029-0)
- 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, p.1306-1313, 2011.
- MITASOVA, H. M. et al. **Terrain modelling and soil erosion: applications for Ft. Hood report for USA CERL**. Champaign: University of Illinois, 2001.
- PANAGOS, P. et al. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European Scale. **European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Environmental Geosciences, Land Use Policy, University of Basel**, p.38-50, 2015.
- PINTO, G.S. et al. Estimativas das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o método de erosão potencial. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 39, p. 62-71, 2020.
- POSTHUMUS, H. et al. Costs and benefits of erosion control measures in the UK. **Soil Use Management**, v. 31, p. 16-33, 2015. <https://doi.org/10.1111/sum.12057>
- PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, acessado em 05/12/2023 através do link: MapBiomass Brasil
- SAKUNO, N. R. R. 2020. Adaptation and application of the erosion potential method for

tropical soils. **Revista Ciência Agronômica**, v.51, e20186545, 2020.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5^a. ed. – Brasília, DF: Embrapa. 2018.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. Ed. 5, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPQ). 2015.

SILVA, G. A. B.; DAVID, P. L. D.; BIANCHI, G. A utilização do SIG para o planejamento urbano. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 10, p. 79-89, 2017.
<https://doi.org/10.17271/19843240102120171675>

SILVA, J. R. DA, SOUZA, F. S. de, Lima, R. de C. A., Oliveira, J. P. de, Fonteles, M. R. B., Costa, L. B. de O., ... Souza, M. F. de. (2018). Caracterização de Solos Indiscriminados de Várzea na Amazônia Central: uma abordagem para a agricultura sustentável. *Acta Amazonica*, 48(1), 41-50.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Soil survey manual**. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture, Handbook. 1993.

SPALEVIC, V. **Impact of land use on runoff and soil erosion in Polimlje**. 2011. Tese (Doutorado) - Faculty of Agriculture of the University of Belgrade, Serbia. 2011.

TANGESTANI, M. H. Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 5, p. 585-597, 2006.

TAVARES, A.S. et al. Modelagem da erosão hídrica pelo método de erosão potencial em uma sub-bacia hidrográfica de referência no Sul de Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, p. 555-572, 2019.

TIECHER, T. *et al.* Quantifying land use contributions to suspended sediment in a large, cultivated catchment of Southern Brazil (Guaporé River, Rio Grande do Sul). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 237, p. 95-108, 2017.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.004>.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of America**, v. 61, p. 1024–1030, 1997.

ZORN, M.; KOMAC, B. Response of Soil Erosion to Land Use Change with Particular Reference to the Last 200 Years (Julian Alps, Western Slovenia). **Revista de Geomorfologie**, v. 11, p. 39-47, 2009.