

Aplicação do processo hierárquico analítico (AHP) para análise da suscetibilidade à erosão da microrregião de Alfenas, Minas Gerais, Brasil.

Márcia Pereira da Silva Manoel¹

Clibson Alves dos Santos²

Camila Porfírio Albuquerque Ferraz³

Douglas Henrique Manoel Pereira⁴

Admilson Írio Ribeiro⁵

Conservação de solos e recuperação de áreas degradadas

Resumo

A suscetibilidade refere-se à condição de vulnerabilidade e, em estudos ambientais, está relacionada à propensão do meio a ser afetado por impactos e degradações devido à sua condição natural. O escopo desta pesquisa foi realizar a análise da suscetibilidade à erosão na microrregião de Alfenas, Minas Gerais, Brasil. Para classificar a suscetibilidade da área foram selecionadas cinco variáveis que, conforme a literatura, influenciam os processos erosivos: uso e cobertura da terra, declividade, pedologia, geologia e pluviometria, em ordem decrescente de importância estabelecida pelo processo analítico hierárquico (AHP). A análise multicritério AHP revelou que a microrregião de Alfenas apresenta, em sua maioria (60%), áreas com média suscetibilidade à erosão, 18% de áreas com forte ou fraca suscetibilidade, 4% da área com muito fraca suscetibilidade, principalmente no município de Alfenas, e, por fim, 1% da área demonstrou suscetibilidade muito forte à erosão em municípios como Poço Fundo, Machado e Carmo do Rio Claro. O município de Alfenas demonstrou a menor suscetibilidade em toda a microrregião, sendo, portanto, as áreas mais indicadas ao planejamento de práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: Vulnerabilidade à erosão; Degradação do solo; Planejamento ambiental; Análise multicritério.

1 Doutoranda em Ciências Ambientais pela UNESP Sorocaba, marcia.p.silva@unesp.br.

3 Doutoranda em Ciências Ambientais pela UNESP Sorocaba, cp.albuquerque@unesp.br.

2 Prof. Dr. na UNIFAL-MG, Departamento de Ciências da Natureza, clibson.santos@unifal-mg.edu.br.

4 Prof. Geografia pela UNIFAL-MG, Departamento de Ciências da Natureza. douglashmanoel@gmail.com.

5 Prof. Dr. na UNESP Sorocaba – Departamento de Engenharia Ambiental, admilson.irio@unesp.br.



INTRODUÇÃO

A suscetibilidade erosiva do solo para Silva Junior (2015) se caracteriza pela probabilidade de ocorrência de processos erosivos relacionados às condições do terreno, avaliados com base na correlação espacial entre fatores de predisposição, a saber, declividade, uso e cobertura da terra, pedologia, geologia e clima. Simonetti et al. (2018) afirmam que a associação entre esses fatores contribui para a ocorrência dos processos erosivos.

De acordo com Telles (2015) a erosão do solo, caracteriza-se pelo desprendimento e transporte de partículas provocados pela ação da água e do vento. A erosão hídrica, predominante em grande parte do planeta resulta da chuva e do escoamento superficial e, embora a erosão seja um processo natural, a intervenção humana, através do manejo inadequado do solo, pode acelerar significativamente esse fenômeno, comprometendo, ao longo do tempo, a capacidade e o potencial produtivo das terras agrícolas.

De acordo com Lal (2019) os processos erosivos são naturais, porém podem se tornar acelerados diante da interferência de atividades antrópicas a depender, principalmente, das características do solo, do relevo e da cobertura vegetal. Além do prejuízo às terras agricultáveis, a erosão do solo pode promover o transporte de sedimentos para os corpos hídricos reduzindo a qualidade das águas e promovendo o assoreamento de rios e reservatórios.

A região sul do estado de Minas Gerais conforme Rodrigues et al. (2017) destacar-se no cenário nacional como principal produtora mundial de café e encontra-se entre as principais regiões do país na produção de leite. Essas circunstâncias tornam a região polo econômico de atividades agrícolas intensivas com capacidade de alterar significativamente as características do solo e promover impactos ambientais diversos a depender da suscetibilidade da área e das técnicas agrícolas empregadas na gestão dos manejos.

A região também se evidencia no cenário de produção energética ao abrigar o lago artificial que abastece a Usina Hidrelétrica (UHE) de Furnas. A UHE foi implantada no sudoeste de Minas Gerais, entre os anos 1956 e 1965 para atender ao projeto desenvolvimentista do Plano de Metas do Governo



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Juscelino Kubitschek, o objetivo foi satisfazer parte do fornecimento de eletricidade aos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Pozzer & Ferrão, 2018).

Essas questões tornam o estudo da suscetibilidade erosiva no sul de Minas Gerais particularmente interessante para identificar as limitações e potencialidades do meio. As informações obtidas podem ser utilizadas na elaboração de estratégias de gestão e recuperação de áreas degradadas, além de destacar áreas com potencial econômico e prioritárias à conservação ambiental.

Para a avaliação da suscetibilidade erosiva Crepani et al. (2001) e Ross (1994) propuseram metodologias a partir dos conceitos da Ecodinâmica de Tricart (1977), que como explica Oliveira et al. (2009) utiliza-se de uma escala de valores relativos e empíricos relacionados a morfogênese e pedogênese, gerados a partir de variáveis trabalhadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG), tendo como resultado uma classificação de valores de suscetibilidade à erosão em razão da média ponderada das variáveis ambientais.

Dada a necessidade de avaliar as condições físicas locais para um planejamento ambiental mais eficaz, adotou-se a metodologia de análise hierárquica de processos (AHP) para a realização deste estudo. Desenvolvida por Saaty (1987), essa metodologia permite a análise de problemas de tomada de decisão por meio da construção de níveis hierárquicos. Assim, a hierarquia de critérios e pesos da AHP surge a partir da tomada de decisão dos gestores durante a construção do modelo. A comparação entre os critérios ocorre de forma paritária, introduzindo um componente subjetivo ao processo. Dessa forma, os critérios e pesos resultam de julgamentos humanos, não apenas de informações matemáticas. A AHP, portanto, não se trata de um modelo de observação da realidade, mas de um método que converte preferências ou julgamentos humanos em valores numéricos para apoiar a tomada de decisão. Os pesos refletem a prioridade atribuída a cada elemento ou critério, que podem ser organizados em hierarquias.

O objetivo, portanto, foi analisar a hierarquia da suscetibilidade à erosão para a microrregião de Alfenas, utilizando variáveis ambientais sugeridos por Ross (1994) no estudo da suscetibilidade de ambientes naturais, tais como declividade, uso e cobertura da terra, pedologia, geologia e pluviometria. Essas informações podem fornecer dados sobre os diferentes graus de suscetibilidade erosiva na área de estudo e, assim, contribuir para o desenvolvimento econômico, social e ambiental da região com a intenção de mitigar impactos ambientais advindos de ações antrópicas em regiões vulneráveis aos processos erosivos.



METODOLOGIA

APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A microrregião de Alfenas está situada na região Sul/Sudoeste de Minas Gerais, abrangendo uma população de 225.352 habitantes e uma extensão territorial de 4.992 quilômetros quadrados (km²). Esta microrregião é composta por doze municípios: Alfenas, Alterosa, Areado, Carmo do Rio Claro, Carvalhópolis, Conceição da Aparecida, Divisa Nova, Fama, Machado, Paraguaçu, Poço Fundo e Serrania (Figura 01)

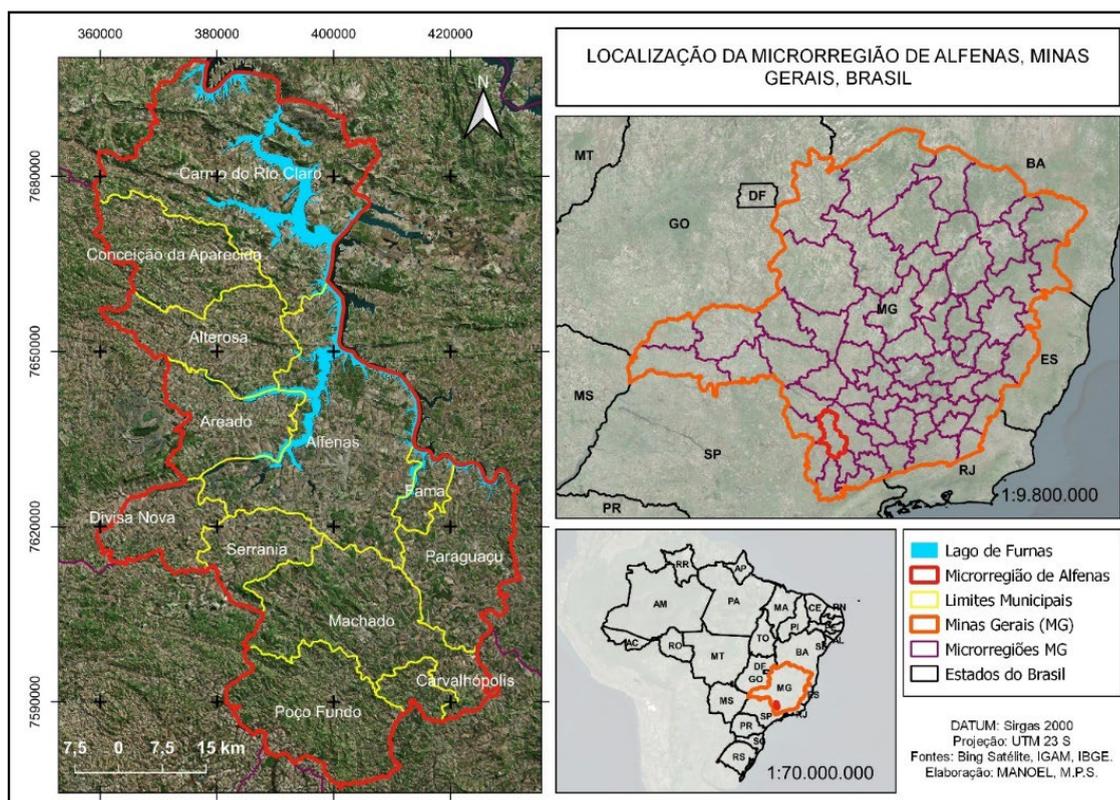


Figura 01: Localização da Microrregião de Alfenas na porção Sudoeste de Minas Gerais, Brasil. Fonte: Os autores.

A microrregião está localizada geomorfologicamente no Planalto Sul de Minas (Alto Rio Grande), nos domínios morfoclimáticos de mares de morros e áreas de transição (Ab'Saber, 1970). As



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

unidades de paisagem da região incluem os geossistemas de colinas amplas de Furnas, morros convexos de Alfenas e Machado, morros e montanhas de Serrania, e cristas alongadas de Campestre e Serrania (Oliveira e Ferreira, 2009).

O clima caracteriza-se como tropical mesotérmico ou tropical de altitude, com médias anuais variando entre 21°C e 23°C com mínimas diárias entre 9°C e 10°C nos meses de junho e julho (IBGE, 2010). Os solos latossolos vermelho-escuros predominam na região (FEAM, 2010). A produção agrícola compõe-se principalmente por lavouras permanentes (54,88 %) em municípios como Machado e Conceição da Aparecida e pecuária intensiva (32,67 %), com destaque para a produção de café, especialmente nos municípios de Alfenas e Machado (IBGE, 2017).

MÉTODOS PROCEDIMENTAIS

Para elaboração da carta temática de suscetibilidade foi realizado o levantamento de dados em fontes secundárias, a fim de obter informações sobre declividade, geologia, pedologia, pluviometria e uso e ocupação da terra (Sporl & Ross, 2004). A integração dessas variáveis viabilizou um diagnóstico da suscetibilidade à erosão para a microrregião de Alfenas a partir de classes hierárquicas.

A declividade foi determinada utilizando o programa sistema de informação geográfica (SIG) QGIS 3.34.11 a partir das imagens obtidas da base de dados SRTM/Topodata (30 m) e disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A partir do carregamento do modelo digital de elevação (MDE) no SIG foi realizado o cálculo da declividade com utilização da ferramenta de análise de terreno.

A carta temática de uso e cobertura da terra foi elaborada com base em imagens do sensor Operational Land Imager (OLI) a bordo do satélite Landsat 8, nos canais espectrais 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul), obtidas na base de dados do United States Geological Survey (USGS). As etapas subsequentes incluíram a composição colorida de cor verdadeira, o recorte da área de interesse, o realce do histograma de frequência de intensidade das células (percent clip) e a fusão com o canal pancromático (banda 8, com resolução de 15 x 15 m) no SIG ArcGIS 10.1. O procedimento seguinte consistiu na classificação semiautomática supervisionada, utilizando-se do método da máxima verossimilhança com amostras previamente definidas, de modo que permitiu identificar e categorizar



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

os diferentes tipos de uso da terra na área estudada.

Os valores AHP foram distribuídos a fim de estabelecer cinco classes de valores do mais fraco ao mais forte aos processos erosivos para cada variável, esses valores foram usados na reclassificação dos planos de informação sobrepostos em ambiente SIG, utilizando-se da álgebra de mapas.

Os dados secundários relativos ao uso da terra, declividade e pedologia dessa pesquisa foram estabelecidos por Ross (1994). As classes relacionadas ao clima foram baseadas na pesquisa de Ribeiro (2014) e as classes de geologia foram adaptadas das classes hierárquicas estabelecidas por Crepani et al (2001). As Tabelas 01 e 02 apresentam as classes das variáveis obtidas por pesquisa de literatura.

Tabela 01: Valores AHP das variáveis declividade, pedologia, pluviometria e uso e cobertura da terra para a microrregião de Alfenas apontadas pela literatura.

Valor AHP	Hierarquia	Declividade*	Pedologia **	Pluviometria (mm/ano) ***	Uso da Terra ****
1	Muito Fraca	0 - 6%	Latossolo Vermelho-Escuro, represa	-	Rocha Exposta, fragmento florestal e água
3	Fraca	6 - 12%	-	-	-
5	Média	12 - 20%	Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo	-	Pastagem
7	Forte	20 - 30%	Cambissolo	1409 – 1700	Culturas agrícolas
9	Muito Forte	> 30%	Argissolo Vermelho-Escuro, Litossolo, Gleissolo Háptico	-	Solo exposto e urbanização

Fonte: Ross (1994) *, Ross (1994) **, Ribeiro (2014) ***, Ross (1994) ****.

Tabela 02: Valores AHP para a variável geologia para a microrregião de Alfenas apontada pela literatura.

Geologia	Crepani et al (2001)	AHP	Hierarquia
Biotita gnaiss, Migmatito, Albita anatexito, Hornblenda gnaiss, Ortognaiss, Enderbit, Charnockito, Monzogranito, Quartzo sienito, Jotunito, Mangerito, Norito, Tonalito, Trondhjemito, Monzodiorito, estromático, gnaiss, Diatexito, Granulito, Granulito – máfico, Granito, Gnaiss granulítico, Granitóide, Monzonito, Granodiorito, Xisto	1,3	1	Muito Fraca
Clorita xisto, Talco xisto, Hornblendito, Muscovita, Clorita xisto, biotita xisto, Paragnaiss, Rocha metaultramáfica,	1,5	3	Fraca
Filito, Sericita xisto, grafita xisto, Metarenito, Metagrauvaca, Muscovita, Rocha metavulcânica, Xisto, grafita xisto	2	5	Média
Formação ferrífera bandada (BIF'S), Depósitos de areia, Depósitos de cascalho, Aglomerado, Laterita, Depósitos de areia, Depósitos de argila.	2,8	9	Muito Forte

Fonte: Adaptada de Crepani et al (2001)

A Tabela 3 apresenta a classificação estabelecida por Saaty (1987) na metodologia da análise hierárquica de processos (AHP) e que foram consideradas para determinar as classes de suscetibilidade à erosão na microrregião de Alfenas com base nas variáveis citadas.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Tabela 03: Classificação atribuída à metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

Valores AHP	Hierarquia	Explicação
1	Muito Fraca	Os fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Fraca	Um fator é ligeiramente mais importante do que o outro.
5	Média	Um fator é claramente mais importante do que o outro.
7	Forte	Um fator é fortemente favorecido em comparação ao outro.
9	Muito Forte	A diferença de importância entre os fatores é extrema.

Fonte: Adaptada de Saaty (1987).

O peso de cada variável considerado para a álgebra de mapas foi determinado conforme a metodologia AHP de Saaty (1987). Assim, o peso hierárquico de cada variável foi obtido a partir da opinião de especialistas, por meio da comparação pareada das variáveis e incorporando um componente subjetivo no processo. O resultado consistiu em critérios e pesos baseados em julgamento humano, conforme exemplificado na Tabela 04.

Tabela 04: Exemplo de matriz de comparação pareada AHP para as variáveis do estudo.

Variáveis	Uso da terra	Declividade	Pedologia	Geologia	Clima
Uso da terra	1	5	6	6	6
Declividade	1/5	1	3	3	6
Pedologia	1/6	1/3	1	3	3
Geologia	1/6	1/3	1/3	1	3
Clima	1/6	1/6	1/3	1/3	1

Fonte: Modificada de Saaty (1987).

A ponderação AHP nesta pesquisa foi determinada a partir da opinião de sete (7) professores/pesquisadores especialistas das áreas de Geografia Física e Geologia do Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) no ano de 2017.

O procedimento consistiu na elaboração de um questionário em forma de matriz como o exemplo (Tabela 04), em que os especialistas atribuíram pesos de importância às variáveis dispostas nas linhas da matriz, comparando uma a uma em relação às variáveis dispostas nas colunas. Foi considerada a opinião apenas dos especialistas que obtiveram o índice de consistência (< 10%) conforme a metodologia AHP (Saaty, 1987).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico foram discutidos os resultados da análise da suscetibilidade erosiva para a



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

microrregião de Alfenas. Cada uma das variáveis (declividade, uso e cobertura da terra, pedologia, geologia e pluviometria) influenciou na avaliação final da suscetibilidade à erosão da microrregião de Alfenas. Os valores AHP estabelecidos pela literatura às variáveis e suas respectivas áreas (ha) de influência podem ser conferidos na Tabela 05.

Tabela 05: Hierarquia AHP das variáveis para a microrregião de Alfenas com área (ha) e % estabelecida pela literatura.

Valor AHP	Hierarquia	USO DA TERRA		DECLIVIDADE		PEDOLOGIA		GEOLOGIA		PLUVIOMETRIA	
		ha	%	ha	%	Há	%	ha	%	ha	%
1	Muito Fraca	89.752	18	98.227	20	305.338	61	233.752	47	0	0
3	Fraca	0	0	156.744	31	0	0	170.397	34	0	0
5	Média	118.267	24	142.160	28	116.669	23	81.402	16	0	0
7	Forte	231.518	46	65.615	13	20.560	4	0	0	498.907	100
9	Muito Forte	59.370	12	36.160	7	56.340	11	13.356	3	0	0
Área total		498.907	100	498.907	100	498.907	100	498.907	100	498.907	100

Elaboração: Os autores.

Os valores AHP (Tabela 05) extraídos da literatura foram distribuídos na área de estudo em hectares e em porcentagem para classificar a intensidade dos diferentes usos da terra, declividade, pedologia, geologia e pluviometria.

O valor AHP forte (7) foi predominante em relação ao uso da terra e pluviometria, enquanto a pedologia e geologia demonstraram valor AHP muito fraco (1). A declividade, por sua vez, apresentou uma distribuição mais equilibrada, com a maior parte da área estabelecida no valor AHP fraco (3).

O resultado da ponderação AHP das variáveis baseou-se nos pesos atribuídos pelos especialistas na matriz de comparação pareada (Saaty, 1987), conforme a Tabela 06.

Tabela 06: Resultado da ponderação das variáveis a partir das respostas dos especialistas do Curso de Geografia Física da UNIFAL - MG (2017).

Análise comparativa pareada dos especialistas (%)								Ponderação AHP (%)
Temas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Média de P5 e P6
Uso da Terra	40,29	34,69	29,47	16,90	45,66	7,33	5,75	26,49
Declividade	27,57	33,31	29,48	35,27	23,90	42,51	47,77	33,21
Pedologia	12,87	13,58	21,83	7,44	16,02	22,59	21,18	19,00
Geologia	7,71	10,99	3,23	8,19	8,44	19,29	10,12	13,86
Clima	11,56	7,43	15,99	32,20	5,98	8,29	15,19	7,13
IC (%)	78,59	55,28	18,65	15,47	6,09	6,35	13,06	6,22

Onde: P1 a P7 refere-se aos especialistas consultados. Fonte: Os autores.

Para a sobreposição ponderada das variáveis, considerou-se na álgebra de mapas apenas a média



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

dos valores dos questionários aplicados que apresentaram um índice de consistência inferior a 10%. Dessa forma, apenas a média dos questionários P5 e P6 foi utilizada na sobreposição ponderada dos mapas das variáveis analisadas (Eq. 01).

$$SE = ([D]*0,3321) + ([U]*0,2649) + ([P]*0,1931) + ([G]*0,1386) + [C]*0,0713) / 5 \quad [Eq. 01]$$

Onde: SE é a suscetibilidade erosiva; D é à declividade; U é ao uso e cobertura; P é a pedologia; G representa a geologia e C a Pluviometria.

A aplicação da Eq. 01 possibilitou determinar os graus de suscetibilidade à erosão na área de estudo e a síntese dessas informações foi representada pelo mapa temático de suscetibilidade à erosão (Figura 02).

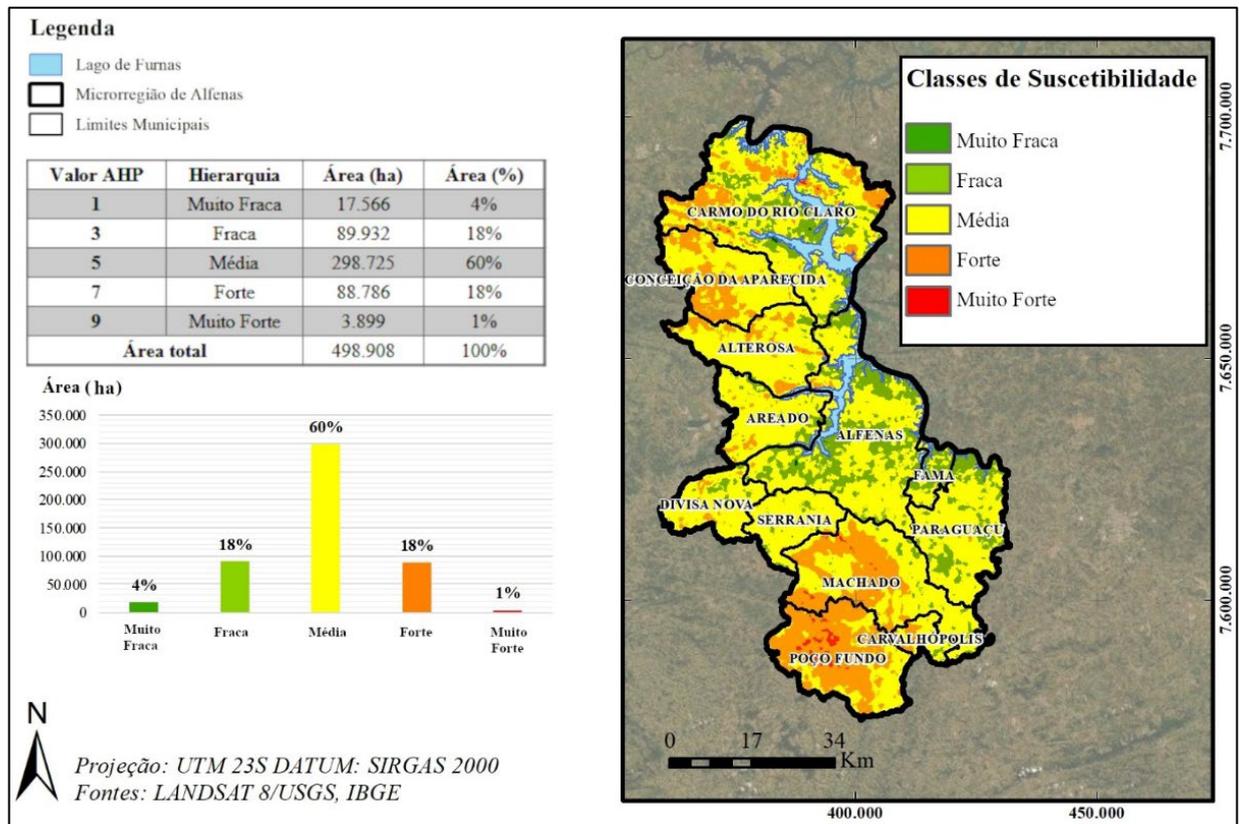


Figura 02: Mapa síntese da suscetibilidade erosiva da Microrregião de Alfenas. Elaboração: Os Autores.

A análise integrada das variáveis pela álgebra de mapas utilizando a metodologia AHP nos planos



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

de informação de declividade, uso e cobertura da terra, pedologia, geologia e pluviosidade, nessa ordem de importância e influência nos processos erosivos, revelou que, na área total analisada de 498.908 hectares, 60% da microrregião de Alfenas apresenta suscetibilidade média à erosão (5), sendo, portanto, a classe dominante na área. Áreas com suscetibilidade fraca (3) e forte (7) representam, cada uma, 18% do total. Apenas 4% da área demonstrou suscetibilidade muito fraca (1), enquanto 1% apresentou suscetibilidade muito forte (9).

Os municípios de Poço Fundo, Conceição da Aparecida, Machado e Carmo do Rio Claro correspondem às áreas mais propensas à erosão, sendo classificadas como áreas de suscetibilidade forte a muito forte. Esse fato pode estar relacionado à localização desses municípios em áreas mais declivosas, com pedologia e geologia mais suscetíveis aos processos erosivos. No uso da terra, o predomínio de atividades agropecuárias voltadas ao manejo intensivo, potencializadas pela declividade desses municípios, confere maior suscetibilidade a essas áreas, pois essas variáveis possuem maior peso no resultado, considerando a forte suscetibilidade erosiva do clima tropical mesotérmico.

Os municípios de Alfenas, Fama, Paraguaçu e parte de Carmo do Rio Claro apresentaram classes de suscetibilidade muito fraca ou fraca (Figura 02), englobando quase a totalidade das áreas com essa classificação (18%). A maior extensão da microrregião de Alfenas, entretanto, possui suscetibilidade erosiva média (60%), esse resultado ocorre em razão da agricultura intensiva muito comum na área de estudo. Essas atividades e o tipo de manejo podem estar contribuindo para o assoreamento do reservatório de Furnas, fundamental para o desenvolvimento econômico regional e determinante na produção energética no sul de Minas Gerais e outros estados do Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A microrregião de Alfenas destaca-se regionalmente tanto no setor agrícola quanto em relação ao lago que abastece o reservatório da usina hidrelétrica de Furnas. Diante disso, a análise das potencialidades e vulnerabilidades dessa região, por meio da suscetibilidade à erosão, revela-se um caminho viável para o planejamento estratégico da área de estudo.

Os resultados deste trabalho indicaram que 60% da microrregião de Alfenas apresenta



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

suscetibilidade média à erosão, sendo esta a classe dominante. Áreas com suscetibilidade fraca e forte representam, cada uma, 18% do total, enquanto apenas 4% da área demonstrou suscetibilidade muito fraca e 1% apresentou suscetibilidade muito forte.

Esses resultados fornecem uma base sólida para a tomada de decisões que visem o progresso dos municípios da microrregião de Alfenas. Os órgãos responsáveis pela gestão e organização do território podem utilizar essas informações para promover um modelo de desenvolvimento sustentável, especialmente no uso da terra, levando em consideração o grau de suscetibilidade natural de cada área.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas concessões de bolsas de graduação e pós-graduação. Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) e à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) pelo apoio institucional e acadêmico.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, n. 20, p. 1-26, 1970.
- AMBDATA (Divisão de processamento de imagens – INPE). Grupo de Modelagem para Estudos da Biodiversidade. **Disponível em:** http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/dados_climaticos.php. Acesso em janeiro de 2020.
- CODEGEO. Shapefiles do Brasil para download. 2013. **Disponível em** <http://www.codegeo.com.br/2013/04/shapefiles-do-brasil-para-download.html>. Acesso em janeiro de 2020.
- CREPANI, Edison et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Disponível em:** <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em janeiro de 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.1v.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agro 2017, indicadores municipais:



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

2017. Disponível em: <https://mapasinterativos.ibge.gov.br/agrocompara/>. Acesso em janeiro de 2020.
- LAL, R. Accelerated Soil erosion as a source of atmospheric CO₂. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 188, p. 35-40, 2019.
- OLIVEIRA, R. L. S.; FERREIRA, M. F. M. Caracterização dos Geossistemas e das Geofácies da Região de Alfenas, Sul de Minas Gerais. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, UFV, Viçosa, 6-10 de julho de 2009.
- PORTAL DA GEOLOGIA. Projeto Triângulo Mineiro. 2014. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em janeiro de 2020.
- POZZER, C. E.; FERRÃO, A. M. A. O Plano de Desenvolvimento do Lago de Furnas de 1975: o desafio da integração regional. **Interações (Campo Grande)**, v. 19, p. 871-887, 2018.
- RIBEIRO, A. D. S. (2014). Vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, sul de Minas Gerais. **Dissertação**: Disponível em: <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/551>. Acesso em 05 de setembro de 2024.
- RODRIGUES, J.A.M; MELLO, C.R.; VIOLA, M.R, RODRIGUES, M.C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo – MG. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 36, n. 3, p.531-542, 2017. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i3.11695>.
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do departamento de geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.
- SAATY, Roseanna W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.
- SILVA JUNIOR, C. H. L. Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico (AHP) aplicados ao zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamentos: uma revisão. **Revista Monografias Ambientais**, [S.l.], p. 42-55, set. 2015. Acesso em: 27 jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130818976>.
- SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. D. C.; OLIVEIRA, R. A. D.; SABONARO, D. Z. & ROSA, A. H. (2018). Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, 44, 169-180.
- SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, v. 15, p. 39-49, 2004.
- TELLES, T. S. (2015). Conservação dos solos e preços de terras agrícolas no Brasil (Doutorado). Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/947914>, acesso em agosto de 2024.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, **SUPREN**, 1977.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Disponível em: <http://glovis.usgs.gov/>. Acesso em 2019.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Universidade Federal de Lavras. Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte: Fundação Estadual de Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <http://feam.br/noticias/1/1355-mapa-de-solos>. Acesso janeiro de 2020.