

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

Disciplina: Introdução à Geoinformática

Docentes Responsáveis: Silvana Amaral, Marcos Adami, Gilberto Ribeiro, Karine Reis Ferreira e Lúbia Vinhas

Discente: João Victor Pereira Sabino

Orientadora: Silvana Amaral

Título Provisório: Avaliação da fragilidade das Unidades de Conservação do Estado de Minas Gerais com base na análise integrada de dados geoespaciais.

Introdução e Objetivos

Áreas protegidas são espaços territorialmente definidos com o objetivo de conservar a natureza e os serviços ecossistêmicos associados. Este conceito, de amplo uso na bibliografia internacional, abrange uma variedade de arranjos institucionais, desde reservas instituídas legalmente até territórios sob manejo tradicional, refletindo distintas formas de governança e estratégias de conservação dos ecossistemas terrestres (DUDLEY, 2008; WATSON et al., 2014; NAUGHTON-TREVES et al., 2005; LAURANCE et al., 2012).

No Brasil, a principal categoria de análise que materializa o conceito de área protegida é a Unidade de Conservação (UC), formalizada pela Lei nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). As UCs são territórios legalmente delimitados com objetivos explícitos de conservação ambiental, podendo se enquadrar em dois grupos: as de proteção integral, que priorizam a preservação dos ecossistemas com acesso restrito, e as de uso sustentável, que permitem o uso racional dos recursos naturais compatível com a manutenção dos atributos ambientais da área (BRASIL, 2000).

Apesar da robustez institucional do sistema brasileiro, estudos têm apontado que a criação formal de uma área protegida não assegura, por si só, sua efetividade. Fatores como o isolamento ecológico, a fragmentação da paisagem, a ausência de conectividade com outras áreas naturais e as pressões internas e externas comprometem a funcionalidade dessas áreas e a capacidade de manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (WATSON et al., 2014; NAUGHTON-TREVES et al., 2005; FENG et al., 2025). Em Minas Gerais, estado brasileiro caracterizado por elevada diversidade ecológica e intensa ocupação territorial, as UCs enfrentam desafios que demandam uma abordagem abrangente e multifatorial para avaliação de sua fragilidade (IEF, 2021), entendida como a susceptibilidade intrínseca dessas áreas à degradação da biodiversidade e à perda de serviços ecossistêmicos frente a pressões internas e externas (ROSS, 1994).

Diante desse cenário, propõe-se o desenvolvimento de uma matriz de fragilidade ambiental aplicada às UCs de Minas Gerais, fundamentada em três dimensões analíticas:

(i) fatores internos, ligados às características físicas, ecológicas e institucionais das UCs; (ii) fatores externos locais, relacionados às dinâmicas socioambientais dos municípios que interceptam suas zonas de amortecimento; e (iii) fatores externos regionais, que abrangem padrões e pressões territoriais e ecológicas em escala estadual. A metodologia será baseada na utilização de dados geoespaciais públicos, com destaque para a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente (IDE-SISEMA), sendo complementada por informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES/INPE), MapBiomas e outras bases temáticas, com o objetivo de garantir robustez, atualidade e cobertura analítica adequada.

O objetivo geral deste trabalho é propor uma abordagem geoespacial para avaliação da fragilidade ambiental das UCs de Minas Gerais, por meio da construção e aplicação de uma matriz baseada em fatores diversos e multiescalares. Para atingir esse objetivo, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- Selecionar, classificar e espacializar fatores representativos da fragilidade ambiental das UCs, organizando-os em três dimensões analíticas: interna, externa local e externa regional;
- Desenvolver uma metodologia de análise multicritério para construção da matriz, com base na normalização, ponderação e integração dos fatores;
- Analisar os padrões espaciais de fragilidade, buscando compreender a sua distribuição no território e suas relações com fatores ambientais e socioespaciais;
- Discutir a suficiência e as limitações da base estadual (IDE-SISEMA) frente às exigências metodológicas da matriz, identificando eventuais lacunas e necessidades de complementação com outras fontes.

Materiais e Procedimentos Metodológicos

Os dados utilizados neste trabalho serão obtidos majoritariamente da IDE-SISEMA, que disponibiliza informações sobre unidades de conservação, uso e cobertura da terra, requerimentos minerários, recursos hídricos, biodiversidade, queimadas e infraestrutura para o estado de Minas Gerais. Essa plataforma foi adotada como fonte principal por oferecer uma estrutura consolidada de dados geoespaciais públicos em escala estadual, com ampla abrangência temática e compatibilidade com os elementos da matriz de fragilidade proposta. Além disso, a IDE-SISEMA fornece arquivos com padronização cartográfica, metadados estruturados e integração com serviços web geográficos, o que favorece a interoperabilidade, e o processamento direto em ambiente SIG.

Complementarmente, serão utilizados dados do IBGE, da coleção MapBiomas, do PRODES/INPE, do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBio), do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) por meio do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos de Minas Gerais (SIGRH-MG) e da Agência Nacional de Mineração (ANM). A incorporação dessas bases justifica-se pela

necessidade de ampliar a cobertura temática da análise. Algumas informações essenciais, como séries históricas de uso e cobertura da terra (MapBiomas), dados demográficos (IBGE) e dados espeleológicos (CECAV), não estão disponíveis de forma integrada ou atualizada no IDE-SISEMA. Bases de dados como o PRODES oferecem uma boa resolução temporal para o monitoramento da supressão da vegetação nativa, enquanto ANM e SIGRH-MG contribuem para avaliar pressões específicas como requerimentos minerários e uso de águas subterrâneas.

A seleção dos fatores, buscando uma compreensão exploratória da temática, considerou a relevância teórica, a disponibilidade de dados públicos e o julgamento analítico do pesquisador quanto à pertinência dos fatores para o contexto territorial e ecológico de Minas Gerais. A seleção dos dados priorizou a viabilidade prática da aplicação da metodologia, utilizando fatores para os quais existem dados públicos geoespaciais disponíveis, obtidos nas fontes descritas anteriormente. O Quadro 1 apresenta os fatores considerados em cada dimensão analítica.

Quadro 1 – Fatores considerados na análise, sua dimensão analítica e descrição. (**In**: Fatores Internos; **ExL**: Fatores Externos Locais; **ExR**: Fatores Externos Regionais)

Fatores	In	ExL	ExR	Descrição
Fator de Forma				Avalia o grau de compacidade ou alongamento da Unidade de Conservação, identificando se seu formato contribui para a proteção do núcleo central. Formas mais compactas tendem a reduzir a exposição das áreas internas a pressões externas, enquanto formas alongadas ou irregulares podem favorecer a borda e, consequentemente, a antropização da área core.
Fatores Institucionais				Considera aspectos referentes à gestão da UC. Tem conselho consultivo? Recebe visitantes? Tem plano de manejo?
Perímetro				Mede a extensão da borda da Unidade de Conservação, sendo um indicador da suscetibilidade à pressão antrópica proveniente das áreas adjacentes. Quanto maior o perímetro em relação à área, maior pode ser a exposição a impactos externos.
Geodiversidade				Avalia a diversidade e a quantidade de formações geológicas de interesse científico e paisagístico presentes na UC, podendo indicar áreas com maior valor geoambiental e risco associado à exploração.
Biodiversidade				Avalia a riqueza de espécies, endemismo e presença de espécies ameaçadas ou habitats prioritários. Quanto maior a complexidade ecossistêmica, maior a fragilidade.
Progressão do Desmatamento				Área total desmatada ao longo do tempo, discriminando períodos anteriores e posteriores ao ano 2000, o que permite avaliar o histórico e a persistência da pressão antrópica.
Grau de antropização				Mede a intensidade da modificação da paisagem natural decorrente de infraestrutura, agropecuária, urbanização ou outras formas de ocupação humana.
Presença de populações tradicionais				Indica se há presença de populações indígenas, quilombolas ou comunidades tradicionais na UC. A presença de populações tradicionais diminui a fragilidade da UC.
Potencial agrícola				Define o risco de ocupação de áreas de preservação em decorrência do potencial agrícola das áreas no interior da UC (pode ser reforçado por fatores externos locais).

Requisição de Direitos Minerários				Indica o número e abrangência das requisições minerárias, refletindo o potencial de pressão por exploração mineral — podendo ser ponderado por fatores como demanda regional ou histórico de exploração.
Densidade de rodovias, ferrovias e aeroportos				Quantidade e extensão de estradas, trilhas ou acessos dentro e fora da UC.
Tipo de proteção legal				Classificação da UC segundo o SNUC: Proteção Integral ou Uso Sustentável. Quanto maior o grau de proteção, menor a fragilidade.
Quantidade e potencial de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas				Avalia a quantidade de cavidades naturais subterrâneas considerando seu raio de proteção preliminar de 250 metros, indicando áreas de obrigatoriedade de conservação. A presença de cavernas diminui a fragilidade. Quanto maior o potencial da área, maior a fragilidade.
Presença de Sítios Arqueológicos				Indica a existência de sítios arqueológicos registrados dentro dos limites da Unidade de Conservação ou em sua zona de amortecimento. A presença desses bens culturais pode implicar restrições legais adicionais ao uso do território.
Focos de queimada				Quantifica os focos de calor registrados na UC e em seu entorno em determinado período, sendo um indicador direto de eventos de queimadas e sua frequência.
Fator de aumento da população a cada censo				Variação percentual da população entre censos, indicando a dinâmica de crescimento demográfico em áreas que interceptam ou circundam a UC.
Densidade demográfica				Número de habitantes por km ² no(s) município(s) que interceptam a UC, refletindo a intensidade de ocupação humana.
Presença de APPs				Existência e continuidade das Áreas de Preservação Permanente (APPs), considerando seu papel como corredores ecológicos em nível municipal.
Preservação de APPs				Avaliação da conservação das APPs no município, com base em sua cobertura vegetal, grau de integridade e manutenção da função ecológica.
Crescimento da malha urbana				Variação espacial e temporal da mancha urbana do município, indicando expansão urbana sobre áreas naturais ou rurais.
Número de infrações ambientais registradas				Número de infrações ambientais registradas por órgãos de fiscalização (IBAMA e entidades estaduais), refletindo pressão antrópica direta.
Cobertura de saneamento básico				Percentual da população municipal atendida por serviços de coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos.
Quantidade de UCs no mesmo Bioma				Número total de Unidades de Conservação localizadas no mesmo bioma da UC analisada.
Proporção de área protegida no Bioma, no Estado				Percentual do bioma protegido por Unidades de Conservação no território estadual.
Quantidade de UCs na mesma Bacia hidrográfica				Número de Unidades de Conservação que compartilham a mesma bacia hidrográfica da UC analisada.
Cobertura florestal nativa remanescente no bioma				Percentual de vegetação nativa remanescente no bioma correspondente à UC, indicando o grau de conservação da matriz ecológica regional
Distância à unidade de conservação mais próxima				Mede o grau de isolamento da UC dentro da rede estadual, útil para avaliar conectividade funcional em nível regional.

A execução do trabalho envolverá o tratamento, padronização e integração dos dados em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com apoio de ferramentas e linguagens de programação como QGIS, SQL e Python. As bases serão reprojatadas para o sistema geodésico SIRGAS 2000 (EPSG:4674) e organizadas para permitir as análises

espaciais necessárias. A infraestrutura computacional do BDC-Lab (INPE) será utilizada para acessar e desenvolver produtos em nuvem.

Cada fator da matriz será convertido em um indicador **padronizado** (0 a 1), e agrupado conforme as três dimensões analíticas: internos, externos locais e externos regionais. A agregação entre os fatores será realizada por média ponderada, com pesos definidos conforme a relevância analítica de cada grupo, que será definida durante a execução do trabalho. A matriz será então aplicada na busca pela identificação dos padrões espaciais de fragilidade.

Resultados Esperados

Espera-se que a aplicação da matriz a ser desenvolvida permita identificar e representar espacialmente os graus de fragilidade das Unidades de Conservação selecionadas, evidenciando como diferentes fatores interagem para compor situações de maior ou menor fragilidade ambiental. A metodologia deverá gerar produtos cartográficos interpretáveis e replicáveis, capazes de apoiar diagnósticos territoriais e subsidiar a gestão ambiental. Adicionalmente, espera-se demonstrar a viabilidade do uso do IDE-SISEMA como infraestrutura de dados para análises ambientais integradas, ao mesmo tempo em que se reconhecem suas limitações e se apontam caminhos para sua complementação com outras bases públicas nacionais.

Referências Bibliográficas

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

DUDLEY, N. (Ed.). **Guidelines for applying protected area management categories.** Gland: IUCN, 2008.

FENG, X. et al. A trade-off between biodiversity and climate contributions of reforestation programs in China. **Science Advances**, [S.l.], v. 11, n. 4, eadd0402, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.add0402>.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (IEF). **Áreas prioritárias: estratégias para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas, 2021. 162 p.

LAURANCE, W. F. et al. Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. **Nature**, London, v. 489, p. 290–294, 2012.

NAUGHTON-TREVES, L.; HOLLAND, M. B.; BRANDON, K. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 30, p. 219–252, 2005.

WATSON, J. E. M. et al. The performance and potential of protected areas. **Nature**, London, v. 515, n. 7525, p. 67–73, 2014.