

15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA
**CARTOGRAFIA DA GEODIVERSIDADE NA SERRA DO
CARAÇA (MG)**

Laís Barbosa Fernandes ¹
Roberto Marques Neto ²

RESUMO

A Serra do Caraça está localizada ao Sul da Serra do Espinhaço e Leste do Quadrilátero Ferrífero (MG). Além da forte expressão paisagística, destaca-se pela importância geológica e ecológica, coadunando área de interesse mineral com fitofisionomias de cerrados e campos rupestres. O presente estudo tem como objetivo compreender a variabilidade e a distribuição dos aspectos abióticos da Serra do Caraça por meio da aplicação de índice de geodiversidade, mensurado a partir da correlação de dados geológicos, hidrológicos, pedológicos e geomorfológicos. Paralelamente, objetiva-se apresentar a cartografia da geodiversidade como instrumento voltado à conservação dos patrimônios geológico e geomorfológico. Para o trato cartográfico, procedeu-se a contabilização de cada elemento abiótico: tipologias de canais fluviais, tipos de solos, litologias, unidades de relevo, jazidas minerais e lineamentos estruturais. O procedimento adotou a metodologia de Interpolação por Ponderação Inversa da Distância (IDW), permitindo a geração de polígonos representativos da distribuição espacial dos atributos analisados. Utilizou-se uma malha regular no software ArcGIS 10.8, com aplicação da técnica de normalização *Min-Max Scaling*. Os procedimentos resultaram em cinco níveis de geodiversidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta. As áreas de geodiversidade muito alta concentram-se nas porções central e sul, onde há maior complexidade geológica e geomorfológica. As áreas de baixa e muito baixa geodiversidade estão nas extremidades norte e leste, caracterizadas por homogeneidade estrutural. Essas diferenças fornecem subsídios importantes para estratégias de conservação do patrimônio ambiental.

Palavras-chave: Geodiversidade, Geopatrimônio, Geoconservação, Serra do Espinhaço.

INTRODUÇÃO

¹ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, barbosa.lais@outlook.com.br;

² Professor orientador: Dr. Roberto Marques Neto, Departamento de Geociência Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, roberto.marques@ufjf.br.



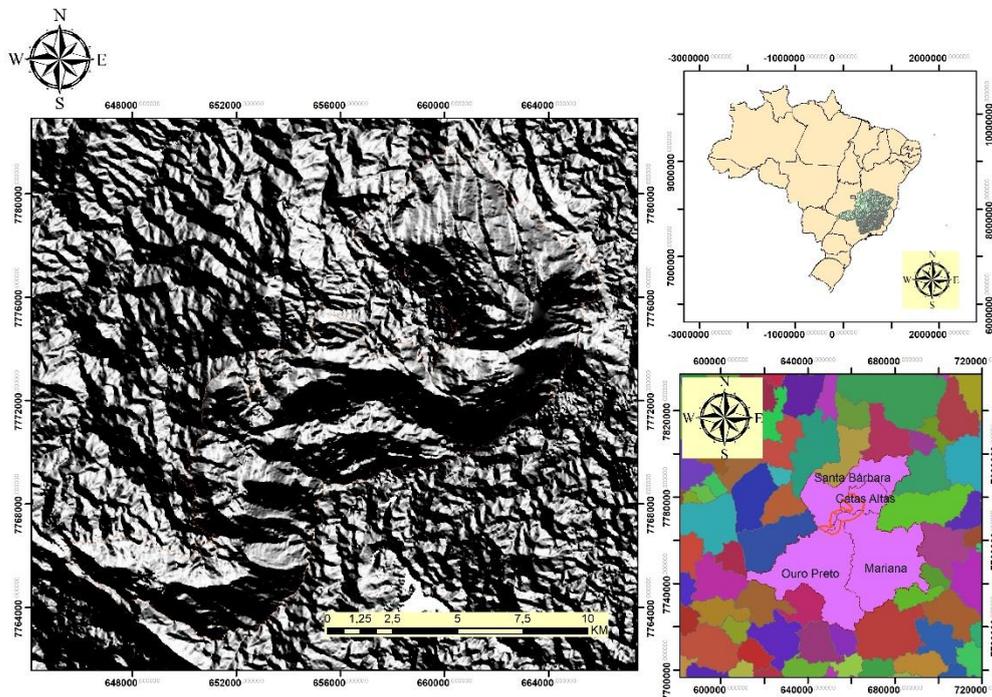
A cartografia da geodiversidade busca representar seus elementos em bases bidimensionais ou tridimensionais, utilizando avanços tecnológicos na cartografia digital. O uso de softwares especializados permite o processamento ágil de dados e a aplicação de metodologias em constante aperfeiçoamento, facilitando a identificação e a classificação de áreas geologicamente relevantes (GUERRA et al., 2018). A complexidade desse mapeamento reside na necessidade de integrar múltiplas variáveis e padronizar a obtenção dos dados (RODRIGUES et al., 2018). Esse termo pode ser interpretado a partir da representação gráfica da geodiversidade, bem como por métodos analíticos e estatísticos modernos (GUERRA et al., 2018). Independentemente do enfoque adotado, a geodiversidade é um fenômeno espacialmente representável, sendo seus componentes passíveis de identificação e classificação (SHARPLES, 1995 apud GUERRA et al., 2018).

Independentemente da metodologia adotada, o estudo da geodiversidade tende a se aproximar de três campos inter-relacionados: (a) gestão territorial, auxiliando no planejamento do uso da terra; (b) geoturismo, identificando áreas com potencial para a prática dessa atividade; e (c) geoconservação, mapeando e indicando espaços propícios à conservação em função de geodiversidade mais elevada e da presença de geopatrimônios e morfopatrimônios associados.

A Serra do Caraça/MG está localizada no Quadrilátero Ferrífero (MG) entre as cidades de Catas Altas, Mariana, Ouro Preto e Santa Bárbara (Figura 1). Faz parte da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, reconhecida pela UNESCO (UNESCO, 2023). Nela também está inserida a RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural) Serra do Caraça, que contribui ativamente para o geoturismo local, bem como para a valorização da cultura e história nacional, testemunhando ainda elementos relevantes da história da Terra. Por estar presente em uma região que é em um dos pontos focais da mineração brasileira, principalmente de minério de ferro, estudos com o objetivo de compreender a variabilidade e distribuição dos aspectos abióticos na Serra do Caraça através da geodiversidade assumem relevância como forma de contribuir para a conservação local, identificar áreas prioritárias para além daquelas adstritas às áreas protegidas pelo SNUC (Sistema Nacional de Unidade de Conservação). Além disso, estudos de tal ordem podem fornecer insumos importantes a serem considerados na formulação de políticas públicas que promovam a conciliação entre a preservação ambiental e as atividades econômicas alinhadas ao interesse público.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo representar, compreender e analisar a distribuição dos elementos abióticos da Serra do Caraça por meio da cartografia da geodiversidade, visando discutir de forma crítica as atividades vigentes na área que comprometam a integridade ambiental da Serra, identificando áreas mais afetadas por ações transformadoras.

Figura 1:



Fonte: Autoria Própria (2024)

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do banco de dados envolveu a obtenção e organização de informações geográficas e topográficas essenciais para a Serra do Caraça. Para isso, foram utilizados mapas topográficos e imagens de satélite, garantindo uma representação digital precisa da região. As cartas topográficas foram adquiridas no acervo do portal do Exército, abrangendo as folhas de Catas Altas (SF-23-X-B-I-1) e Acuruí (SF-23-X-A-III-2), ambas na escala de 1:50.000, cobrindo toda a área de interesse. Esses materiais pertencem ao estado de Minas Gerais, inseridos no fuso 23 Sul e projetados no sistema de coordenadas SIRGAS 2000, tendo sido originalmente disponibilizados no Datum D_WGS 1984.

As imagens de satélite foram obtidas no portal *Science for a Changing World* (USGS - [Login - EROS Registration System](#)), mediante a criação de uma conta para download. Durante o processo, selecionaram-se pontos de controle nas imagens, utilizando os dados da *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) 1 arc-second Global* e imagens *Landsat*, ambas com resolução espectral de 30 metros, além da conversão do Datum.

A integração dessas informações possibilitou a criação de um modelo digital do terreno, servindo de base para análises posteriores e elaboração de mapas temáticos utilizados na quantificação da geodiversidade. As análises foram realizadas com o auxílio do software ArcGIS 10.8.

Os referenciais planimétricos e altimétricos foram definidos com base no Decreto nº 5.334, de janeiro de 2005, estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística



(IBGE), seguindo as normas das Instruções Reguladoras das Normas Técnicas de Cartografia Nacional (BRASIL, 2005). O projeto adotou o sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).

Após a criação do banco de dados, iniciou-se o tratamento e análise das informações. Em ambiente digital no ArcGIS 10.8, as cartas topográficas foram convertidas para o formato *shapefile* (.shp) e submetidas a um processo de transformação de projeções, adaptando-as ao *Datum* SIRGAS 2000.

Para a confecção da cartografia da geodiversidade foi feita a contagem da quantidade de elementos abióticos em cada quadrícula, a saber: litologia, lineamentos positivos e negativos, número e tipos de canais em uma quadrícula, unidades de relevo e recursos minerais. Em um segundo momento foi feita a normalização desses dados por conta da diferença de escala, aplicando-se a normalização de dados em *machine learning*, usando o procedimento *Min-Max Scaling*, que ajusta a amplitude dos dados para uma faixa específica. O *Min-Max Scaling* redimensiona os dados para um intervalo entre 0 e 1, tornando-os mais homogêneos. Esse método é aplicado a variáveis contínuas que compõem a escala do mapa, reduzindo o viés de magnitude entre diferentes conjuntos de dados.

Por fim, executada a interpolação por Ponderação Inversa da Distância (IDW), que projeta os valores em função da vizinhança local, sem atribuir um valor específico para cada ponto do mapa. Essa técnica gera polígonos que levam em consideração os valores das quadrículas projetadas ao longo da área delimitada.

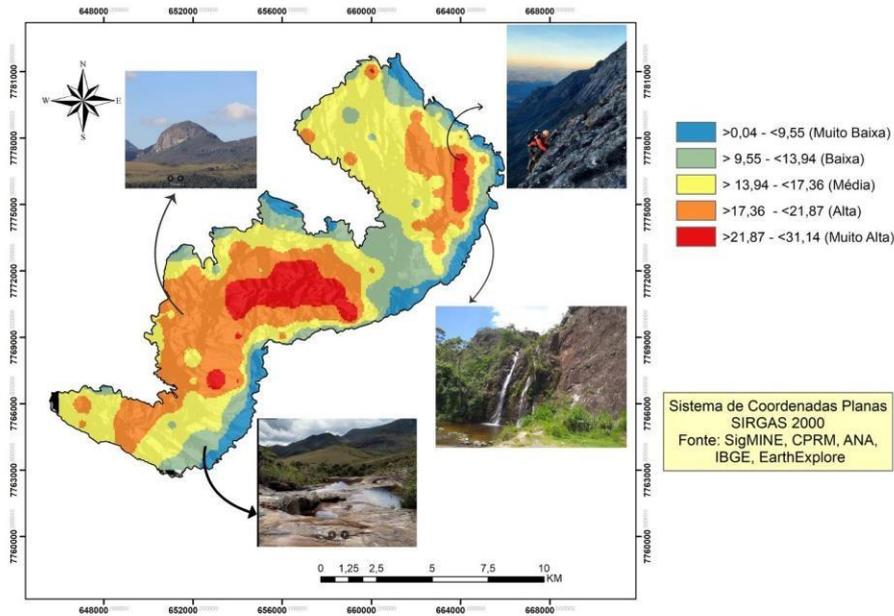
Todos esses passos foram baseados na metodologia de Hjort e Luoto (2010), tendo como base o conceito de geodiversidade definido por Gray (2004) e Serrano e Flaño (2007a, 2007b). De acordo com Teixeira e Guerra (2001), essa metodologia pode fornecer uma boa avaliação, especialmente com a superposição de geossítios. Tem por base a geração de quadrículas de 1000 x 1000 metros através da ferramenta *fishnet* no Arcgis 10.8, usada para orientar a geração dos dados em IDW.

Ao final, foi realizada uma apresentação seguida de breve discussão acerca dos valores da geodiversidade tendo como base a proposta de Gray (2004), de modo a complementar qualitativamente os resultados cartográficos eminentemente quantitativos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis de unidades de relevo, lineamentos estruturais, tipos e números de canais, tipos de solo, litologia e recursos minerais foram distribuídas em uma área de aproximadamente 419.000 m², e o mapeamento (Figura 2) resultou em 5 classes de geodiversidade, variando de *muito baixa* a *muito alta*.

Figura 2:



Fonte: Aatoria Própria (2024)

Os lineamentos estruturais contribuíram para a classificação, vez, apresentou significativa influência, visto que zonas com maior densidade de canais tendem a se caracterizarem como de alta geodiversidade. Em contrapartida, os tipos de canais apresentaram menor influência.

As zonas de geodiversidade *muito alta* estão demarcadas por bolsões pelos quais é possível vislumbrar três setores de maior influência, sendo o maior deles localizado na porção central da serra, que também encontra-se próximo à área de mineração da Mina Alegria, uma área média localizada na porção oriental, pertencente ao município de Catas Altas/MG, com uma pequena parte está localizada na unidade de conservação RPPN Santuário Caraça. Por último, verifica-se uma representação menor ao sul, pertencente ao município de Ouro Preto/MG no distrito de Antônio Pereira. Especificamente nesses pontos, as variáveis que mais influenciam são as unidades de relevo, lineamentos e recursos minerais.

Os setores correspondentes à geodiversidade *alta* são bem distribuídas por praticamente toda região, estando dispersos ao redor das áreas de geodiversidade *muito alta*, formando uma espécie de cinturão. Essa classe está mais concentrada na porção central e sudeste, criando um caminho expressivo para o sul. Ao norte verifica-se um bolsão nas proximidades de Catas Altas, bem como pequenos pontos distribuídos. Tal classificação indica transições entre formações mais geodiversas e complexas. De modo a exemplificar esse resultado na paisagem, tem-se o Pico da Carapuça que está inserido na aludida RPPN. A referida geoforma está posicionada em uma altitude de 1.955m, e ostenta notório afloramento rochoso entre a superfície somital e as altas vertentes, mantendo proximidade com jazidas de minério de ouro.



A geodiversidade *média* bordejia a áreas de geodiversidade *alta*, e encontra-se em maior quantidade na delimitação da RPPC Santuário do Caraça, principalmente no segmento central da porção norte, podendo ainda ser encontrada em algumas áreas periféricas da região central tanto dentro quanto fora do referido ponto de localização. Também aparece de maneira destacada nos municípios de Santa Bárbara/MG e Ouro Preto/MG. Um fato a ser observado é que essa classificação está muito bem demarcada nas áreas de mineração, e um exemplo é a Mina Capanema, entre os municípios de Santa Bárbara, Ouro Preto e Itabirito (MG), que está inserida na Serra da Capanema, divisora das bacias dos rios São Francisco (pela bacia do rio das Velhas), e Doce (referenciada na bacia do rio Conceição, sub-bacia do Piracicaba).

Ainda a respeito das áreas com maiores índices de geodiversidade, cumpre mencionar a RPPN Santuário Caraça, que no contexto da área de mapeamento está localizada aproximadamente entre as coordenadas 652000/668000 no eixo leste-oeste e 7762000/7784000 no eixo norte-sul, cobrindo uma área de aproximadamente 16 quilômetros de extensão na direção leste-oeste e cerca de 22 quilômetros na direção norte-sul, predominantemente inserida nas zonas de geodiversidade *alta e média*. É caracterizada por paisagens de excepcionalidade com formações rochosas, cavernas e cachoeiras que contribuem para a singularidade e para a captação de pesquisas geológicas e geomorfológicas. Uma amostra é a Cachoeira Cascatona, soleira em afloramento rochoso envolta à área de ocorrência de Neossolo Litólico em degraus e patamares reafeiçoados, cuja drenagem encaixada e retilínea evidencia um possível controle estrutural.

A geodiversidade *baixa* é uma categoria que foi encontrada em menor quantidade, estimada em aproximadamente 20% da área, ocorrendo principalmente a leste e sudoeste e em uma pequena porção ao norte. Percebe-se que funciona como uma zona de transição entre as geodiversidades classificadas como médias e muito baixas. São porções de menor densidade hidrográfica e de lineamentos estruturais. Um modelo na paisagem desse indicador é o Poço Senhor do Anéis, localizado no distrito de Antônio Pereira, em Ouro Preto – MG

Por último e não menos importante, a geodiversidade *muito baixa*, localizada nas bordas da área de estudo, é representada por menor diversidade geológica e relevos mais homogêneos. Nota-se, em alguns casos, poucos lineamentos estruturais e canais fluviais, interferindo no resultado da interpolação de dados. A tal categoria se adequa a área onde está localizada a Cachoeira da Santa (Catas Altas, MG) que é um ponto turístico bastante representativo na cidade. Isso demonstra que a percepção de valor patrimonial transcende a mera avaliação quantitativa da geodiversidade e envolve uma compreensão mais ampla dos elementos singulares que contribuem para o patrimônio geológico de uma área.

Verifica-se ao longo de quase todo o sopé da Serra uma área caracterizada como zona



de transição de *muito baixa* até *alta* geodiversidade. Coincide com a área de exploração minerária na anteriormente mencionada Mina Capenema. Além disso, na porção sudeste, no distrito de Santa Rita Durão (Mariana/MG), localiza-se a Mina da Alegria, pertencente à Samarco. Na parte oriental, em quase toda a sua extensão, está a Mina Fazendão da Vale. Para tais minas existe um fato a se ressaltar, que se trata do projeto de ampliação das mesmas apresentado em 2014, com a intenção de unificar as cavas Tamanduá e Almas.

O valor intrínseco da geodiversidade está relacionado ao reconhecimento da importância da geodiversidade em si, independentemente do uso humano. Esse valor reside na existência e permanência dos elementos abióticos como um legado da história geológica, destacando sua relevância ética e filosófica. Na Serra do Caraça, o valor intrínseco é expresso pela presença de unidades geológicas como o Grupo Caraça e a formação ferrífera bandada, que representam processos não renováveis, em consonância às proposições de Gray (2004). A importância ética de conservar esses elementos é reafirmada pela própria continuidade dos processos naturais ao longo do tempo (MANSUR, 2018).

O valor estético está relacionado ao impacto visual e à inspiração a geodiversidade proporciona em interação com o conjunto da paisagem. As escarpas elevadas, os afloramentos de quartzitos e as cachoeiras como a Cascatinha e o Banho de Belchior são fatos geomorfológicos que engendram paisagens que oferecem um valor estético elevado. Segundo Rodrigues e Bento (2018), paisagens com características geomorfológicas marcantes, como as que encontramos na Serra do Caraça, tendem a ser valorizadas pela contemplação e pelo turismo. A beleza cênica e a diversidade de formas naturais da serra contribuem para o seu valor estético, tornando-a um local de interesse visual e inspiração artística.

O valor cultural da geodiversidade está ligado à identidade e ao patrimônio local. A Serra do Caraça tem uma forte relação com a história e cultura mineiras, onde o valor cultural está evidenciado pela presença de patrimônios históricos, como o Santuário do Caraça e as trilhas utilizadas desde o período colonial (RUCHKYS, 2007). A serra e seus elementos geológicos são parte integrante da identidade cultural local, simbolizando a interação entre a história geológica e o desenvolvimento da região ao longo dos séculos.

O valor funcional está associado ao papel da geodiversidade como substrato que sustenta os ecossistemas locais. Na Serra do Caraça, a diversidade litológica – incluindo quartzitos, itabiritos e formações ferríferas – influencia a variação dos solos e a presença de ecossistemas específicos, como os campos rupestres (SCHAEFER et al., 2008). Esses ecossistemas adaptados a solos ácidos e pobres em nutrientes dependem diretamente da geodiversidade local, destacando o papel essencial dos elementos abióticos para a manutenção da biodiversidade regional e dos processos ecológicos.

O valor econômico da geodiversidade refere-se ao uso dos recursos geológicos para



atividades econômicas. Embora a Serra possua um enfoque na conservação, os minerais como itabirito e quartzo têm potencial econômico significativo e são característicos do Quadrilátero Ferrífero. Além disso, o geoturismo representa uma fonte econômica relevante para a região, incentivando práticas de turismo sustentável que valorizam o patrimônio natural e promovem o desenvolvimento econômico local sem comprometer os recursos geológicos (BRILHA, 2005).

O valor científico e educacional está relacionado ao potencial da Serra do Caraça para a realização de pesquisas e atividades educativas. A diversidade geológica da serra, com formações do Supergrupo Minas e do Grupo Itabira, oferece uma área rica para estudos sobre evolução geológica, neotectônica e biodiversidade. Esses aspectos são essenciais para a formação de alunos e pesquisadores nas áreas de geologia e ecologia, oferecendo um campo natural para estudos e promovendo o desenvolvimento do conhecimento científico (PEREIRA et al., 2013). Além disso, abriga uma grande diversidade de flora e fauna, incluindo espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, sendo habitat de importantes mamíferos como a onça-parda (*Puma Concolor*) e o lobo-guará (*Chrysocyon Brachyurus*). A avifauna local é também altamente variada, com mais de 300 espécies de aves registradas, incluindo o gavião-pega-macaco e o sabiá-pimenta, espécies indicadoras da boa qualidade ambiental da reserva (Martin 2004). Esse conjunto de características faz com que a reserva se torne ambiente de estudo in situ, que mantém processos naturais de baixa antropização, o que é fundamental para estudar a evolução da Terra. Abriga diversos sítios de interesse científico que podem ser utilizados para investigar questões relacionadas à evolução geológica, ao desenvolvimento das formas de relevo e aos processos erosivos. Oferece um ambiente ideal para a educação e a pesquisa em geociências. Suas peculiaridades permitem que pesquisadores e estudantes realizem observações de campo, experimentos e análises que contribuem para o avanço do conhecimento geocientífico.

Indefectivelmente, a atividade minerária tem sido o principal fator de ameaça à geoconservação na Serra do Caraça e região. Os impactos da mineração na geodiversidade da região são sentidos desde do séculos dezoito, a exemplo do Morro d'Água Quente, onde havia uma fonte termal que foi destruída e soterrada nas escavações pela busca de ouro, durante o ciclo da mineração. Atualmente é um local de visita, não voltado para o ecoturismo ou geoturismo em específico, mas que os habitantes locais fazem o caminho para acesso a outras cachoeiras que ficam na base dessa porção da serra.

A pressão da mineração na região é um dos maiores riscos ambientais. Catas Altas e Santa Bárbara, municípios circundantes, possuem atividades mineradoras, o que pode ameaçar os ecossistemas locais por meio de poluição, desmatamento, fragmentação de habitats e alteração dos fatores abióticos, como a qualidade do solo, da água e do ar. Além disso, pode modificar o regime hídrico e o equilíbrio geomorfológico. Um exemplo a ser



dado é a detonação de rochas, que causa grandes consequências no meio abiótico, como alteração da topografia, dinamização de processos erosivos, instabilidade de encostas, fragmentação do substrato rochoso e danos aos geopatrimônios existentes. Há também o desafio da manutenção financeira e da infraestrutura necessária para garantir a preservação contínua.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cartografia da geodiversidade abre espaço para trabalhos futuros voltados para identificação de geossítios e, por consequência, dos geopatrimônios, visto que permite a identificação e caracterização de áreas de grande relevância geológica, facilitando sua classificação. A compreensão da distribuição dos elementos abióticos auxilia na identificação de áreas que são passíveis de uma proteção especial. Vale ressaltar que nem todo setor caracterizado como alta geodiversidade será necessariamente um geossítio, da mesma forma que uma baixa classificação não impede de ser considerado como tal diante da presença de geopatrimônios de interesse.

A Serra do Caraça enfrenta várias ameaças antrópicas que ressaltam a necessidade de estratégias eficazes de geoconservação. De acordo com o que foi observado, algumas dessas ameaças incluem a expansão urbana desordenada e a intensificação da atividade mineradora, o que pode levar à degradação de áreas de alto valor ecológico e geológico, além do turismo, que se não se desenrolar de forma planejada pode implicar em pressões tanto na esfera orgânica como inorgânica da paisagem. A urbanização não planejada pode comprometer a integridade das formações naturais, enquanto a mineração excessiva tem potencial para causar danos irreversíveis ao patrimônio geológico.

As reservas naturais presentes na Serra do Caraça, como a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, reforçam ainda mais a importância da região para a conservação da biodiversidade e do patrimônio geológico. Essas áreas protegidas asseguram a continuidade dos processos geomorfológicos e ecológicos essenciais para a manutenção da funcionalidade ambiental.

A cartografia apresentada também pode servir à criação de programas de geoturismo, promovendo o desenvolvimento de atividades econômicas parcimoniosas quanto à exploração da base natural, avultando assim numa alternativa viável à mineração. Vislumbra-se então que esse estudo possa se tornar uma ferramenta para o desenvolvimento da geoconservação na região, proporcionando uma base sólida para sua identificação, conservação, valorização e uso adequado de geossítios e geopatrimônios, coadunando as heranças pretéritas, as vivências atuais e encaminhamentos futuros compatíveis.

Palavras-chave: Geodiversidade, Cartografia, Geoconservação, Espinhaço, Preservação



REFERÊNCIAS

BRILHA, José. Geoconservation and protected areas. **Environmental Conservation**, 2018.

GRAY, Murray. Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. **Chichester**: John Wiley & Sons, 2013.

UCHKYS, Úrsula de Azevedo. Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para criação de geoparque da UNESCO. 2007. 211 f. Tese (Doutorado em Geociências) – **Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2007.

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, v. 90, p. 29–58, 1998.

CLEMENTE, Nicolò. Geoambientes da RPPN da Serra do Caraça e feições do carste quartzítico. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado) – **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 2015.

GROSSI, R. D.; FONSECA, W. M. Mapeamento geológico da borda leste da Serra do Caraça e Vale do Córrego Quebra Ossos – Catas Altas, **MG** – escala **1:20.000**. Belo Horizonte: **Universidade Federal de Minas Gerais**, 2017. 103 p.

VIEIRA, Nathalia de Siqueira. **Potencial educacional e/ou geoturístico da Chapada de Canga e Serra do Caraça, Minas Gerais**. 2018.

SHARPLES, C. Concepts and principles of geoconservation. Austrália: Tasmanian Parks & Wildlife **Service Website**, 2002.

GUERRA, Antônio Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. Geoturismo, geodiversidade e geoconservação. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2018.