

Abordagem metodológica da geodiversidade e temas correlatos em Geossistemas Ferruginosos

Methodological approach of geodiversity and related themes in Ferruginous Geosystems

Úrsula de Azevedo Ruchkys

Geóloga, Doutora em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Professora do Departamento de Cartografia e do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais
tularuchkys@yahoo.com.br

Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira

Graduada em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Mestre em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais
Doutoranda em Ciências Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
carmeliageo2008@gmail.com

Helder Lages Jardim

Geografo, Doutor em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Professor do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais
hljardim@gmail.com

Leonardo Miguel de Sousa Jorge

Graduando em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Bolsista do Projeto FAPEMIG APQ-02956-16: Sítios do geopatrimônio e da geodiversidade em geossistemas ferruginosos de Minas Gerais: inventariação, caracterização e propostas de geoconservação
leonardosouza2012@gmail.com

Resumo

Os estudos relacionados à geodiversidade, geoconservação, geoturismo e geopatrimônio buscam compreender a Terra a partir de uma visão holística, associado a teoria de Gaia, onde os elementos bióticos e abióticos constituem um sistema dinâmico e integrado. O prefixo *geo* surgiu na década de 1990 com intuito de uma abordagem sistêmica para os ecossistemas terrestres, embora a diversidade abiótica seja o alvo principal. Os *geos* (diversidade, patrimônio, conservação e turismo) apresentam técnicas e métodos específicos, nesse contexto o presente trabalho buscou apresentar os métodos qualitativos e quantitativos aplicados aos Geossistemas Ferruginosos, a partir de trabalhos desenvolvidos no Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais. O estado de Minas Gerais representa a maior porção dos Geossistemas Ferruginosos do Brasil, esses geossistemas possuem importantes valores patrimoniais, além de elevado valor econômico, justificando a utilização de métodos que auxiliem no inventário, conhecimento científico, educação ambiental, reconhecimento patrimonial e medidas de conservação.

Palavras-chave: geodiversidade, geopatrimônio, geoconservação, geoturismo, métodos, geossistemas ferruginosos.

Abstract

Studies related to geodiversity, geoconservation, geotourism and geoheritage seek to understand the Earth from a holistic view, associated with Gaia theory, where the biotic and abiotic elements constitute a dynamic and integrated system. The geo prefix emerged in the 1990s for a systemic approach to global ecosystems, although abiotic diversity is the primary target. Geos (diversity, heritage, conservation and tourism) present specific techniques and methods, in this context the present work sought to introduce the qualitative and quantitative methods applied to Ferruginous Geosystems, from works developed in the *Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais* of *Universidade Federal de Minas Gerais*. The state of Minas Gerais has the most significant portion of the Ferruginous Geosystems of Brazil, these geosystems have important patrimonial values, besides high economic value, justifying the use of methods that assist in the inventory, scientific knowledge, environmental education, heritage recognition and conservation measures.

Keywords: geodiversity, geoheritage, geoconservation, geotourism, methods, ferruginous geosystems.

1. INTRODUÇÃO

Os termos geodiversidade, geopatrimônio, geoconservação e geoturismo se encontram na perspectiva de uma visão sistêmica da Terra, podendo-se dizer que o prefixo *geo* neles utilizado está associado à teoria de Gaia postulada por Lovelock (1995) que considera que o planeta e todos os seus elementos bióticos e abióticos constituem um sistema único de interações, que apresenta uma dinâmica integrada de funcionamento. A inspiração para o nome da teoria vem da mitologia grega onde Gaia, Geia ou Ge (em grego Γαία) é a Mãe-Terra.

Segundo Pereira (2009) Gaia é considerada a mãe primeira, a entidade primordial, a base da fecundação e da criação, a que organizou o mundo. Reza a lenda, que a mãe Terra (Gaia) começa criando a partir de si mesma dando origem a Urano, o céu com quem procria. A união do céu e da terra se faz sem regras. O céu acomoda-se sobre a terra, cobrindo-a inteira, e os filhos gerados não podem sair da mãe Gaia, por falta de distância entre esses dois pais cósmicos. Inconformada, a mãe (Gaia) pede a um de seus filhos, Crono, que, à noite, enquanto o céu (Urano) se debruça sobre ela, que ele (Crono) o castrasse. Assim, Urano é castrado por um golpe de foice, amaldiçoa os filhos e deixa Gaia liberta.

O *geo* (diversidade, patrimônio, conservação e turismo) tem uma conotação mais sistêmica da Terra embora o foco principal seja para a diversidade abiótica da natureza. Todos esses termos surgiram a partir da década de 1990 e vêm ganhando espaço nos estudos acadêmicos. A (*geo*)diversidade diz respeito a variedade de solos, rochas, paisagens, minerais, fósseis e outros elementos da natureza; o (*geo*)patrimônio está associado a parcela da geodiversidade que tem atributos científicos, culturais, educativos e outros que justificam sua (*geo*)conservação para

gerações futuras; a (*geo*)conservação se dá por meio da fruição do significado desse (*geo*)patrimônio com uso de recursos interpretativos que fomentam o desenvolvimento do (*geo*)turismo – segmento do turismo que tem o (*geo*)patrimônio como seu principal atrativo.

Pesquisas envolvendo esses temas têm tido grande avanço nos últimos anos. Nesse contexto o artigo tem como objetivo apresentar alguns dos principais métodos e técnicas utilizadas com foco em geossistemas ferruginosos usando como exemplos de aplicação trabalhos desenvolvidos no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais.

2. MÉTODOS PARA A GEODIVERSIDADE

A geodiversidade pode ser abordada com uso de métodos quantitativos e/ou qualitativos ou ainda considerando à integração entre essas duas perspectivas (Tabela 1). Para Minayo e Sanches (1993) a investigação quantitativa tem como objetivo trazer à luz dados, indicadores e tendências observáveis. A investigação qualitativa, ao contrário, trabalha com valores, crenças, representações, hábitos, atitudes e opiniões.

Tabela 1: Métodos para a geodiversidade.

	Métodos	Base	Referências
Geodiversidade	Qualitativo	Descrição dos valores da geodiversidade: baseado em valores, crenças, representações, hábitos. Utiliza a descrição dos valores da geodiversidade.	Gray (2004)
	Quantitativo	Índices: Baseado no cálculo de índices de geodiversidade.	Kozłowski (2004), Serrano e Ruiz Flaño (2007), Hjort e Luoto (2010), Xavier-da-Silva et al. (2001), Silva (2012), Benito-Calvo et al. (2009), Pellitero et al. (2010), Manosso e Ondicol (2012), Arruda (2013), Pereira (2014), dentre outros

Fonte: Elaboração própria

Os métodos quantitativos da geodiversidade são baseados na análise integrada de seus elementos com uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com o desenvolvimento de índices numéricos utilizados para calcular a diversidade abiótica. Como resultados finais da aplicação desses índices são gerados mapas que indicam áreas com maior ou menor grau de geodiversidade. No caso da quantificação os principais desafios se encontram nos elementos que são utilizados no cálculo dos índices bem como na disponibilidade de escalas de levantamento. Segundo Pereira e Ruchkys (2016) esse tipo de abordagem derivou, em parte, das experiências com

a quantificação da biodiversidade que usa índices como os de Shannon e de Simpson para seu cálculo.

Alguns trabalhos têm sido realizados com a finalidade de se quantificar a geodiversidade (Kozłowski (2004), Serrano e Ruiz Flaño (2007), Hjort e Luoto (2010), Xavier-da-Silva et al. (2001), Silva (2012), Benito-Calvo et al. (2009), Pellitero et al. (2010), Manosso e Ondicol (2012), Arruda (2013), Pereira (2014), grande parte dos estudos baseia-se na contagem de quantos e quais elementos que compõem a geodiversidade ocorrem em uma área. Hoje em dia esse tipo de análise está em moda e já bem difundida entre a comunidade acadêmica servindo, em muitos casos, como apoio para o desenvolvimento de outros estudos.

Os estudos qualitativos da geodiversidade têm sido baseados na identificação e descrição de seus valores conforme proposto por Gray (2004): intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e didático (Tabela 2).

Tabela 2: Valores da geodiversidade propostos por Gray (2004).

Valores da Geodiversidade	Descrição	Exemplos
Intrínseco	Valor carregado de subjetividade reflete um valor próprio, de existência, algo que é inerente aos elementos abióticos independente de ter utilidade ou não para o homem.	Atribuído a todos os elementos da geodiversidade.
Cultural	Valor associado às relações afetivas que se estabelecem entre as comunidades humanas e os elementos da geodiversidade do ponto de vista social, cultural e/ou religioso.	Folclore, religiosidade, histórico, arqueológico, espiritual, pertencimento.
Estético	Valor associado ao deslumbramento fornecido pela paisagem.	Atividades de lazer, contemplação ou inspiração artística.
Econômico	Valor associado aos bens e serviços fornecidos pelos elementos da geodiversidade, matéria-prima para o desenvolvimento humano.	Produção de energia, construção civil, combustíveis minerais, extração de água subterrânea, gemas para joalheria, etc;
Funcional	Valor de utilidade que a geodiversidade tem para o homem enquanto suporte para a realização de suas atividades e como substrato para a sustentação dos sistemas físicos e ecológicos da Terra.	Funções do geossistema e ecossistema.
Científico	A investigação de certos aspectos do meio abiótico permite delinear a longa história da Terra, desenhar os cenários futuros de uma região e prevenir-se diante situações de risco, como em áreas de vulcanismo ou tectonismo ativo.	História da Terra, evolução da vida e formas de relevo.
Educativo	A educação em geociências requer um contato prático com o conhecimento geológico para a melhor formação de alunos e profissionais e a garantia de que uma vez que se conheça este patrimônio ele seja conservado.	Educação em ciências da Terra tanto para o ensino formal como para o público não escolar.

Fonte: Modificado Oliveira (2018).

3. MÉTODOS PARA O GEOPATRIMÔNIO

O geopatrimônio pode ser abordado com uso de métodos quantitativos e/ou qualitativos (Tabela 3). A abordagem qualitativa do geopatrimônio constitui a base para todos os outros tipos de estudo a ele associados e diz respeito ao inventário dos geossítios. O termo inventário se origina do termo latino *inventarium*, com o sentido de “achar” ou em outras palavras por à mostra, dar a conhecer (HOUAISS, 2016). Em comum empregam o sentido de relacionar, contabilizar, descrever, enumerar minuciosamente, proceder a levantamentos individualizados e completos, achar, descobrir, sendo modos pelos quais se torna possível valorar os itens que compõem um determinado patrimônio.

Tabela 3: Métodos para o geopatrimônio.

	Métodos	Base	Referências
Geopatrimônio	Qualitativo	Inventário: baseado na inventariação de sítios que compõem o geopatrimônio de uma determinada localidade	SIGEP (2002, 2009, 2013), Lima (2008)
	Quantitativos	Avaliação quantitativa: baseado na atribuição de valores considerando diferentes critérios para os sítios que compõem o geopatrimônio de determinada localidade	Uceda, 1996, 2000; Elízaga e Palacio, 1996; Rivas et al., 1997; García-Cortés et al., 2000; Brilha, 2005, 2015; Pereira, 2006, 2010; García-Cortés e Carcavilla Urquí, 2009; Lima et al., 2010; entre outros
		Classificação de relevância: a partir da atribuição de valores aos geossítios é possível classifica-los quanto à relevância: local, regional, nacional ou internacional	Brilha (2005)

Fonte: Elaboração própria

Romão e Garcia (2017) fazem um levantamento histórico sobre o inventário do geopatrimônio tendo sua origem em países europeus, notadamente na Inglaterra, Espanha e Portugal. Nesses países os inventários nacionais foram baseados na representatividade de geossítios geralmente subdivididos em categorias temáticas. No Brasil a inventariação do geopatrimônio nacional teve início com a criação da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) em 1997. Foram inventariados, em todo o território nacional, 116 geossítios publicados em três livros (SIGEP 2002, 2009, 2013). No âmbito dos estados os inventários têm sido realizados principalmente por meio do desenvolvimento de trabalhos acadêmicos em nível de mestrado e doutorado.

Os inventários estão na origem da constituição do campo da conservação do patrimônio no século XVIII e devem ser construídos com base em critérios, recortes e pontos de vista explicitados.

Segundo Miranda (2018), o inventário consiste na identificação e registro, por meio de pesquisa e levantamento, por especialistas de diversas áreas (arquitetura, história, geociências, etc) das características e particularidades de determinado bem, adotando critérios técnicos objetivos e fundamentados de natureza histórica, artística, arquitetônica, sociológica, paisagística, geológica, geomorfológica, espeleológica e antropológica, entre outros. Ao produzir conhecimento sobre o universo de bens naturais ou culturais, os inventários podem justificar sua proteção e valorização pelo poder público. Como a conceituação de patrimônio é dinâmica e passa por transformações ao longo do tempo, os trabalhos de inventário representam estratégias diferentes para atribuição de valor, pressupondo uma base sistemática de registro de informações, mais ou menos complexa, dependendo das diferentes concepções adotadas, de períodos históricos distintos, dos territórios delimitados e da diversidade de tipos de bens estudados (MOTTA; SILVA, 1998).

Inventários do geopatrimônio começaram de forma apenas qualitativa, mas, a necessidade de minimizar a subjetividade e contribuir para uma hierarquização de importância levou a necessidade do desenvolvimento de métodos quantitativos.

São propostos diferentes métodos de quantificação de geossítios baseados em critérios como características intrínsecas, uso potencial, necessidade de proteção. Cada critério tem uma série de itens para os quais são atribuídas notas: Uceda (1996, 2000); Elízaga e Palacio (1996); Rivas et al., 1997; García-Cortés et al. (2000); Brilha (2005, 2015); Pereira (2006, 2010); García-Cortés e Carcavilla Urquí (2009); Lima et al. (2010); entre outros. No Brasil a maioria dos trabalhos envolveu a adaptação de métodos europeus (ROMÃO; GARCIA, 2017). O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) desenvolveu um aplicativo web denominado Geossit para cadastro e quantificação automática de geossítios, sendo uma das primeiras iniciativas brasileiras que possibilita a integração dos dados das fichas de inventário e os parâmetros de quantificação para caracterização do geopatrimônio nacional (REVERTE; GARCIA, 2016).

A quantificação de geossítios permite definir a relevância em âmbito local, regional, nacional ou internacional. Geossítios classificados como de importância internacional ou nacional devem ser conservados independentemente do uso que possa ser implementado (BRILHA, 2005).

4. MÉTODOS PARA A GEOCONSERVAÇÃO E O GEOTURISMO

Muitos dos métodos aplicados a geoconservação envolvem o uso do geopatrimônio para educação e/ou geoturismo, por isso a opção pela abordagem conjunta (Tabela 4). Um dos métodos que tem sido proposto é o enquadramento de geossítios em categorias de proteção aplicadas a outros tipos de patrimônio.

Alvarenga et al. (2018) fazem um levantamento de menções ao geopatrimônio na legislação brasileira e encontram na Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB), o reconhecimento da Serra do Mar e outras notáveis regiões naturais como integrantes do patrimônio nacional, para fins de “*preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais*” (BRASIL, 1988). A Constituição de Minas Gerais (CEMG), de 1989, declarou tombados e monumentalizou geformas como os picos do Itabirito, Ibituruna e Itambé, as serras do Caraça, da Piedade, do Ibitipoca, Cabral e de São Domingos, no planalto de Poços de Caldas (MINAS GERAIS, 1989).

Tabela 4: Métodos para o a geoconservação e o geoturismo

	Métodos	Base	Referências
Geoconservação e Geoturismo	Qualitativos	Aspectos legais: baseado no enquadramento de categorias de proteção aplicáveis a outros tipos de proteção	Alvarenga et al. (2018)
		Valorização de difusão: baseado em técnicas de educação e interpretação ambiental para fruição do significado do geopatrimônio	Mansur et al. (2013)
		Participativos com comunidades: baseado em técnicas participativas com comunidades locais que levam ao reconhecimento do valor de seu geopatrimônio	Braga et al. (2014), Franco et al. (2016)
	Quantitativo	Avaliação quantitativa: baseado na atribuição de valores para avaliação do potencial do geopatrimônio para o geoturismo ou para fins didáticos	Sena (2015), Santos (2017)

Fonte: Elaboração própria

Diferentes categorias de Unidades de Conservação estabelecidas pela Lei 9.985, de 2000, podem desenvolver projetos e programas específicos de geoconservação. Adicionalmente, institutos jurídicos que comumente têm lugar em ações de salvaguarda, valorização e gestão do patrimônio cultural podem ser úteis para o cuidado com geopatrimônio, incluindo o tombamento e o reconhecimento de paisagens culturais (ALVARENGA et al., 2018).

O reconhecimento do geopatrimônio para sua conservação também pode ser feito com uso de métodos participativos com comunidades que vivem em seu entorno: mapas mentais, pesquisa, entrevistas, dentre outros. Os métodos participativos aplicados ao patrimônio constituem um facilitador para ações que buscam a sustentabilidade e o uso racional de recursos ao valorizar os saberes, experiências, crenças e culturas de comunidades locais. As abordagens participativas, ao

levarem em consideração a perspectiva dessas comunidades, incentivam nelas atitudes e comportamentos de respeito e orgulho em relação a seu geopatrimônio fortalecendo essa ligação.

Uma das aplicações é o mapeamento participativo que pode ser entendido como um modelo alternativo de gestão, capaz de contribuir com os processos de desenvolvimento local, de valorização do patrimônio histórico-cultural e natural e de estabelecimento de diretrizes para ações futuras com as comunidades envolvidas. Ao longo desse processo, as etapas de construção cartográfica são executadas “com”, e não somente “para”, as comunidades, seguindo uma abordagem crítica e democrática, extrapolando o caráter tecnicista das geotecnologias e garantindo o envolvimento comunitário com as questões que lhes dizem respeito, em todas as etapas metodológicas (FRANCO et al., 2016).

A valorização e difusão do geopatrimônio podem ser feitas com uso de métodos próprios da educação ambiental. A educação ambiental é definida pelo Art. 1º da Lei nº 9.795 (1999, p. 1) como “os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem como de usos comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade”. São vários os métodos propostos para a educação ambiental, sendo alguns destinados ao ensino formal e outros aplicados em ambientes diversos como unidades de conservação, museus, centros de visitantes, dentre outros. Considerando os métodos aplicados em ambientes não formais de ensino merece destaque a interpretação ambiental, uma técnica que busca traduzir a linguagem científica para a linguagem comum de modo a sensibilizar visitantes para a importância de patrimônios que estão sendo visitados contribuindo assim com sua conservação.

Ambientes não formais de ensino como unidades de conservação são propícios para a prática do geoturismo, que tem como uma das primeiras definições brasileiras aquela fornecida por Ruchkys (2007). A autora trata o geoturismo como um segmento da atividade turística que tem o geopatrimônio como seu principal atrativo e busca sua proteção por meio da conservação de seus recursos e da sensibilização do turista, utilizando para isto a interpretação deste patrimônio tornando-o acessível ao público leigo, além de promover a sua divulgação e o desenvolvimento das ciências da Terra.

Os dois mais antigos e prolíficos projetos de interpretação do geopatrimônio do Brasil são gerenciados por serviços geológicos estaduais, DRM-RJ e MINEROPAR, Paraná. Em 2006, o Rio Grande do Norte, em convênio com a PETROBRAS, criou o Projeto Monumentos Geológicos do Rio Grande do Norte. Já em São Paulo, a instituição pública estadual de geologia, o Instituto Geológico – IG criou o Projeto Monumentos Geológicos (MANSUR et al., 2013). Em Minas Gerais um projeto financiado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em parceria com a Universidade

Federal de Minas Gerais e executado pelo Instituto Terra Brasilis, instalou cinco painéis interpretativos em sítios do Quadrilátero Ferrífero, com linguagem acessível e bilíngue (português e inglês), aproximando o cidadão comum de seu geopatrimônio e promovendo a geoconservação (RUCHKYS et al., 2012).

Os métodos até aqui descritos para a geoconservação e o geoturismo são de caráter qualitativo. A abordagem quantitativa pode ser feita por meio de técnicas de avaliação do potencial do geopatrimônio para a prática do geoturismo e para uso didático. Essa técnica utiliza a quantificação de geossítios utilizando parâmetros específicos para esse tipo de uso estabelecendo um valor para ranquear cada geossítio em termos de importância para uso didático e turístico. Para essa finalidade também é usado o método proposto por Brilha (2005) com adaptações de pontuação no que diz respeito as possibilidade de realização de atividades, condições de observação, acessibilidade, segurança, dentre outros.

5. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO EM GEOSISTEMAS FERRUGINOSOS

Vários geossistemas brasileiros encerram importantes valores ligados a geodiversidade com destaque para os geossistemas ferruginosos. Souza e Carmo (2015) utilizam esse termo para se referir às unidades espaciais cujo substrato litológico é constituído por rochas ferruginosas, como formações ferríferas bandadas (BIFs) ou itabiritos, cangas, jaspilitos, metadiamicritos ferruginosos, filitos ferruginosos, dentre outros (RUCHKYS et al., 2018).

No Brasil, a maioria dos geossistemas ferruginosos ocorre nos Estados de Minas Gerais, Pará, Bahia e Mato Grosso do Sul. Em 1952, durante o XIX Congresso Internacional de Geologia realizado em Argel, foram apresentadas, no *Symposium do Ferro*, as jazidas de ferro do país, quando foram destacadas também as ocorrências nos Estados de Goiás e São Paulo (RUCHKYS, 2015, p.170). Em Minas Gerais, os geossistemas ferruginosos estão presentes no Quadrilátero Ferrífero (região metropolitana de Belo Horizonte), na borda leste da Serra do Espinhaço (próximo às cidades de Serro e Conceição do Mato Dentro) e ao longo do rio do Peixe Bravo (norte do Estado, próximo a Porteirinha) (Figura 1).



Figura 1: Geossistema Ferruginoso no norte de Minas Gerais, região de Taiobeiras.
Foto: Helder Lages Jardim.

Para os geossistemas ferruginosos de Minas Gerais já foram desenvolvidas algumas pesquisas envolvendo a geodiversidade e temas afins com uso de Sistemas de Informação Geográfica. No âmbito do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Departamento de Cartografia da UFMG são aqui analisados: Pereira (2014), Lima (2015), Santos (2017) e Pizani (2018) – os três primeiros desenvolvidos no contexto do Quadrilátero Ferrífero e o último abordando parte do Geossistema Ferruginoso que ocorre na borda leste da Serra do Espinhaço.

Pereira (2014) usa um método proposto por Serrano e Ruiz-Flaño (2007) para quantificar a geodiversidade da Área de Proteção Ambiental (APA) Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Foram usadas seis variáveis com seu respectivo número de feições: litologia (44), idade geológica (4), unidades do solo (22), unidades de relevo (16), unidades morfológicas (12) e unidades hidrogeológicas (9). As variáveis utilizadas no cruzamento final totalizaram 107 elementos distintos. O resultado obtido a partir da aplicação do algoritmo que gerou os índices de geodiversidade da APA Sul foi um mapa apresentado na forma temática em quatro classes de geodiversidade: baixa, média, alta e muito alta. O autor utilizou a quantificação da geodiversidade para identificar no território áreas prioritárias para geoconservação e para o desenvolvimento do geoturismo considerando, além de áreas classificadas como de muito alta geodiversidade, a diversidade paisagística, a análise do contexto cênico e a facilidade de acesso e deslocamento (PEREIRA; RUCHKYS, 2016).

Lima (2015) baseada nas propostas de Lima et al. (2010), Pereira (2010) e Peñalver (2013) faz uma avaliação quantitativa de sítios naturais relacionados a geodiversidade inventariados pela

Prefeitura Municipal de Ouro Preto. Os 45 geossítios foram quantificados em relação aos valores recreativo e didático além do risco de degradação – cada um com critérios próprios - com base na proposta de Lima *et al.* (2010). A autora aplicou a equação proposta por Pereira (2010) para o cálculo do potencial geoturístico de geossítios denominado pelo autor de relevância (R). Posteriormente foi feita uma modelagem espacial do potencial geoturístico com base em Peñalver (2013). O resultado dessa técnica quantitativa foi um mapa do potencial geoturístico dos distritos de Ouro Preto. Para os atrativos de maior potencial geoturístico (um de cada distrito) a autora faz uma análise qualitativa baseada nos sete valores da geodiversidade, descritos por Gray (2004): intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, didático e científico (LIMA; RUCHKYS, 2019 – no prelo).

Santos (2017) de forma específica para o Parque Nacional da Serra do Gandarela com base na proposta adaptada de Sena (2015) faz uma modelagem do potencial de uso didático da geodiversidade. O autor utiliza as seguintes variáveis: índice de geodiversidade, vulnerabilidade ambiental, capilaridade das vias internas do Parque Nacional. Os mapas produzidos nessa etapa foram equacionados em uma álgebra de mapas para gerar o mapa de potencial de uso didático a partir da seguinte equação: $\text{Potencial de uso didático} = (\text{Índice de geodiversidade} * 0,46) + (\text{Vulnerabilidade ambiental} * 0,29) + (\text{Capilaridade} * 0,25)$. O autor, ainda utiliza o método proposto por Brilha (2015) para definição e avaliação de potenciais sítios da geodiversidade com ênfase no patrimônio espeleológico considerando as seguintes etapas: inventário de sítios da geodiversidade, avaliação qualitativa e quantitativa do potencial de uso didático desses geossítios e avaliação do risco de degradação.

Pizani (2018) com base no método proposto por Lopes e Ruchkys (2015) trabalha com uma proposta de modelagem integrada para uso da mineração e da geoconservação numa área de 20.977,84 km², corresponde à porção centro-norte do Caminho dos Diamantes, inserida no contexto da Estrada Real. Parte da área está inserida no geossistema ferruginoso da borda leste da Serra do Espinhaço nos municípios de Conceição do Mato Dentro e Serro. O método consiste na construção de um cenário propício para mineração, outro propício para geoconservação e finalmente, na elaboração de um cenário integrado a partir da combinação dos outros dois cenários. Nos dois cenários, a seleção das variáveis foi baseada na sua importância para exploração mineral e para práticas de geoconservação. Para o cenário favorável a mineração foram considerados como critérios restritivos: áreas urbanas, áreas de preservação permanente, unidade de conservação; como critérios favoráveis: recursos minerais, processos minerários no DNPM, rodovias e litologia. Para o cenário de aptidão para geoconservação foram considerados somente critérios favoráveis: atrativo turístico, rodovia, unidade de conservação, afloramentos rochosos, visibilidade e índice de

geodiversidade. A última etapa foi à elaboração do cenário integrado. As variáveis de entrada do modelo foram os mapas de aptidão resultantes da modelagem do cenário favorável à exploração mineral e do cenário favorável à geoconservação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se com esse artigo fazer uma abordagem dos principais métodos quantitativos e qualitativos utilizados nos estudos envolvendo geodiversidade, geopatrimônio, geoconservação e geoturismo considerando sua aplicação em geossistemas ferruginosos. Esses geossistemas apresentam, além de seu valor econômico pela concentração do ferro e de outros bens minerais, um rico geopatrimônio tornando-os áreas de estudo interessantes para aplicação de métodos que possam levar a seu conhecimento, sua valorização e promoção patrimonial por meio de atividades interpretativas e educativas.

Os estudos da geodiversidade em geossistemas ferruginosos já desenvolvidos consideram tanto a abordagem quantitativa com o cálculo de índices de geodiversidade como a abordagem qualitativa. No caso da abordagem quantitativa o primeiro mapeamento em geossistemas ferruginosos foi feito na região da APA Sul da RMBH e o resultado foi utilizado para indicar áreas prioritárias para geoconservação e para o geoturismo que também foram caracterizadas do ponto de vista qualitativo. A quantificação por índice de geodiversidade também foi realizada no Parque Nacional da Serra do Gandarela e para a porção centro-norte do Caminho dos Diamantes – em ambos os casos o mapa de geodiversidade foi utilizado como base na modelagem de outros temas como áreas aptas para a geoconservação ou para análise do uso de potencial didático. A abordagem qualitativa da geodiversidade, com descrição de seus valores intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e didático – foi utilizada para caracterizar sítios da geodiversidade nos distritos do município de Ouro Preto.

A abordagem qualitativa do geopatrimônio por meio de seu inventário sistemático foi realizada no Parque Nacional da Serra do Gandarela e a quantificação de sítios do geopatrimônio ou da geodiversidade foi feita também para essa área assim como para os distritos de Ouro Preto. No contexto dos métodos específicos para o geopatrimônio é consenso que a inventariação constitui uma etapa inicial primordial servindo de base para outros estudos.

Considerando a geoconservação e o geoturismo os estudos até então realizados nos geossistemas ferruginosos, envolvem principalmente a quantificação do geopatrimônio para seu uso didático e ou turístico buscando com isso contribuir com sua conservação – esse é o caso dos estudos realizados no Parque Nacional da Serra do Gandarela (que indica geossítios mais adequados

para uso didático) e para os geossítios dos distritos do município de Ouro Preto (que indica o uso geoturístico). Ainda no contexto da geoconservação foi realizada uma modelagem indicando áreas prioritárias para esse fim na porção centro-norte do Caminho dos Diamantes que cobre o geossistema ferruginoso do leste da Serra do Espinhaço, em especial nos municípios de Alvorada de Minas e Serro.

Apesar das pesquisas aqui apresentadas serem importantes iniciativas para o conhecimento do valor patrimonial dos geossistemas ferruginosos ainda podem ser consideradas incipientes no contexto brasileiro e mesmo no Estado de Minas Gerais. Observa-se, no entanto um avanço significativo no desenvolvimento de métodos ligados a geodiversidade, geopatrimônio, geoconservação e geoturismo sendo que, tanto as abordagens qualitativas como quantitativas, estão sendo aperfeiçoadas para atender a demanda brasileira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo financiamento do Projeto APQ-02956-16: Sítios do geopatrimônio e da geodiversidade em geossistemas ferruginosos de Minas Gerais: inventariação, caracterização e propostas de geoconservação.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, L.; CASTRO, P.T.A.; FONSECA, I.C.M. Contribuições à proteção jurídica do patrimônio geológico no Brasil: locais e áreas especiais de interesse turístico como espaços de geoconservação. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v.12, n.2, p. 188-200, 2018.

ARRUDA, K. E. **Geodiversidade do município de Araripina - PE, nordeste do Brasil**. 2013. 171 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

BENITO-CALVO, A.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; MAGRI, O.; MEZZA, P. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.34, p.1433-1445, 2009.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 05 de outubro de 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 02 out. 2018.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a Educação Ambiental, Institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras Providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=321>. Acesso em: 03 de out. 2018.

BRAGA, L. R.O.; MACHADO, M.M.M.; RUCHKYS, U.A. Modelagem de recursos da geodiversidade como suporte às práticas ritualísticas de comunidades de matriz africana. **Caderno de Geografia**, v.24, n.42, p.233-248, 2014.

BRILHA, J.B.R. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Lisboa: Palimage Editora, 2005. 190 p.

BRILHA, J.B.R. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. **Geoheritage**, v.8, n.2, p. 119-134, 2016.

ELIZAGA, E.; PALACIO, J. Valoración de puntos y lugares de interés geológico. In: **El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización** Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: Cendrero Editora., 1996, p. 61-78.

FRANCO, A.R.; RUCHKYS, U.A.; DEUS, J.A.S. Mapeamento participativo e análise dos valores da geodiversidade com artesãos em pedra-sabão da região de Ouro Preto – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 68, n.3, p.457-469, 2016.

GARCÍA-CORTÉZ A.; CARCAVILLA U.L. **Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)**. 12 ed. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 2009. 61 p.

GARCÍA-CORTÉS, A.; RÁBANO, I.; LOCUTURA, J.; BELLIDO, F.; FERNÁNDES-GIANOTTI, J.; MARTÍN-SERRANO, A.; QUESADA, C.; BARNOLAS, A. e DURÁN, J.J. Contextos geológicos españoles de relevancia internacional: establecimiento, descripción y justificación según la metodología del proyecto Global Geosites de la IUGS. **Boletín Geológico y Minero**, Madrid, v. 111, n. 6, p.5-38, 2000.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. Wiley: Chichester. 2004. 434 p.

HJORT, J.; LUOTO, M. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. **Elsevier Geomorphology**, Melbourne, v. 115, p. 109-116, 2010.

HOUAISS. **Grande dicionário Houaiss**. Disponível em: <https://houaiss.uol.com.br/pub/apps/www/v2-3/html/index.htm#5>. Acesso: out. 2018.

KOZŁOWSKI, S. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. **Przegląd Geologiczny**, Polônia, v. 52, n. 8/2, p. 833-837. 2004.

LIMA, C. S. **Modelagem para o geoturismo dos distritos do município de Ouro Preto, Minas Gerais**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

LIMA, C.S.; RUCHKYS, U.A. Potencial geoturístico dos distritos do município de Ouro Preto com uso de geotecnologias (no prelo – aceito para publicação). **Geosul**, Santa Catarina, n.69, 2019.

LIMA, F.F.; BRILHA, J.B.; SALAMUNI, E. Inventorying Geological Heritage in Large Territories: A Methodological Proposal Applies to Brazil. **Geoheritage**, v. 2, n. 3, p. 91-99, 2010.

- LIMA, F.F. **Proposta metodológica para a inventariação do Patrimônio Geológico Brasileiro**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Patrimônio Geológico e Geoconservação) - Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2008.
- LOPES, C. R. G.; RUCHKYS, U. de A. Recursos da Geodiversidade de São Thomé das Letras – MG e seu Uso para Mineração e Geoconservação: Perspectivas para a Reconversão desse Território Mineiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Paraná, v. 35, p. 335-347, 2015.
- LOVELOCK, J. Gaia: **Um novo olhar sobre a vida na Terra**. Lisboa: Edições 70, 1995. 168p.
- MANOSSO, F. C.; PELLITERO, R. O. Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v.35, n. 1, p. 90-100. 2012.
- MANSUR, K.L.; ROCHA, A.J.D.; PEDREIRA, A.J.; SCHOBENHAUS, C.; SALAMUNI, E.; ERTHAL, F.L.C.; PIEKARZ, G.F.; WINGE, M.; NASCIMENTO, M.A.L.; RIBEIRO, R.R. Iniciativas Institucionais de valorização do patrimônio geológico no Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, Paraná, v. 70, p. 2-27. 2013.
- MINAS GERAIS. **Constituição do Estado de Minas Gerais (1989)**. – 20. ed. – Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2018. 426p.
- MINAYO, M. C., SANCHES, O. Quantitativo-qualitativo: oposição ou complementaridade à integração entre as perspectivas qualitativa e quantitativa. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 239-262, 1993.
- MIRANDA, M. P. de S. Inventário é Instrumento Constitucional de Proteção de Bens Culturais. **Revista Consultor Jurídico**. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2018-nov-10/ambiente-juridico-inventario-instrumento-constitucional-protacao-bens-culturais>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- MOTTA, L., SILVA, M. B. R. (Orgs.) **Inventário de Identificação: um panorama da experiência brasileira**. Rio de Janeiro: IPHAN, 1998.
- PELLITERO, R., GONZALEZ-AMUCHASTEGUI, M.J., RUIZ-FLAÑO, P., SERRANO, E. Geodiversity and geomorphosite assessment applied to a Natural Protected Area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). **Geoheritage**, v. 3, n. 3, p. 163-174, 2010.
- PEÑALVER, T. **Modelagem espacial do potencial geoturístico do entorno da Baía de Habana - Cuba**. 2013. 141f. Dissertação (Mestrado Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2013.
- PEREIRA D. I. Notícia explicativa da folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200.000. In: E. PEREIRA (coord.). **Depósitos sedimentares Cenozóicos**. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. Lisboa, 2006, p. 43-48.
- PEREIRA, V. L.C. **As deusas gregas virgens face ao poder de Afrodite**. 2009. 130f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

PEREIRA, R. G. F. A. **Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia - Brasil)**. 2010. 133 f. Tese (Doutorado em Patrimônio Geológico e Geoconservação) - Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2010.

PEREIRA, E. O. **Modelagem da geodiversidade na área de proteção ambiental sul da região metropolitana de Belo Horizonte - MG**. 2013. 80f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

PEREIRA E.O.; RUCHKYS, U.A. Quantificação e análise da geodiversidade aplicada ao geoturismo na área de proteção ambiental sul da região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Ra'e Ga**, Curitiba, v.37, p.207 - 226, 2016.

PIZANI, F. M. C. **Modelagem de cenário integrado para exploração mineral e geoconservação da Estrada Real - porção centro-norte do caminho dos diamantes**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

REVERTE, F.C.; GARCIA, M.G.M. O Patrimônio Geológico de São Sebastião – SP: Inventário e Uso Potencial de Geossítios com Valor Científico. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 495-511, 2016.

RIVAS, V.; RIX, K.; FRANÉS, E.; CENDRERO, A. e BRUNSDEN, D. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. **Geomorphology**, v.18, n. 3, p.169-182, 1997.

ROMÃO, R.M.M.; GARCIA, M.G.M. Perspectivas para a Geoconservação no município de Cananéia, Litoralsul do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre. **Anais...** Sociedade Brasileira de Geologia, 2016.

RUCHKYS, U. **Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a criação de um Geopark da UNESCO**. 2007. 209 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2007.

RUCHKYS, U.A. Sítios geológicos e propostas brasileiras de geoparques em geossistemas ferruginosos. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L. H. Y. (Orgs.) **Geossistemas ferruginosos do Brasil**. Belo Horizonte: Editora 3i, 2015, p. 169-194.

RUCHKYS, U.A.; CASTRO, P.T.A.; SANTOS, D.J.; BITTENCOURT, J.S.R. Patrimônio em Geossistemas Ferruginosos: Potencial de Uso para o Geoturismo. **RELACult – Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade Revista Latinoamericana de Estudios en Cultura y Sociedad | Latin American Journal of Studies in Culture and Society**, Rio Grande do Sul v. 4, n. 2, 2018.

RUCHKYS, U. A.; MACHADO, M. M. M.; CASTRO, P. T. A., RINGER, F. E., TREVISOL, A. Geoparque Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: SHOBHENHAUS C., SILVA C. (Orgs). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil, 2012, cap. 1, p. 183-220.

SANTOS, D. J. dos. **Modelagem do Potencial de Uso Didático e Turístico do Parque Nacional da Serra do Gandarela com Ênfase no Patrimônio Espeleológico**. 2017. 189 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M.L.C. (Edit.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. DNPM/CPRM. Brasília: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. 554p.

SENA, I. C. **Modelagem do potencial geoturístico do Parque Estadual do Sumidouro**. 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity. A theoretical and applied concept. **Geographica Helvetica**, v. 62, n. 3, p. 140-147, 2007.

SILVA, J. P. **Avaliação da diversidade de padrões de canais fluviais e da geodiversidade na Amazônia - aplicação e discussão na bacia hidrográfica do Rio Xingu**. 2012. 277 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SOUZA, F. C. R.; CARMO, F.F. Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. In: Carmo, F.F. e Kamino, L.H.Y. (Org.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**. 1ed. Belo Horizonte: Editora 3i, 2015. v. 1, p. 47-76.

UCEDA, A.C. El patrimonio geológico. Ideas para su protección y utilización. **MOPTMA**, España, v. 1, p. 17-38, 1996.

UCEDA, A.C. Patrimonio geológico; diagnóstico, clasificación y valoración. In: SUÁREZ-VALGRANDE, J.P.(Coord.), **Jornadas sobre Patrimônio Geológico y Desarrollo Sostenible**. Soria, España: Serie Monografías, Ministério de Medio Ambiente, 2000. p. 23-37.

WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S.; QUEIROZ, E.T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D.A. (Edts.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. V. 2. Brasília: CPRM, 2009. 515 p.

WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S.; BERBERT BORN, M.; SALUN FILHO, W.; QUEIROZ, E.T. (Edts.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. V. 3. Brasília: CPRM, 2013. 332 p.

XAVIER-DA-SILVA, J. J.; PERSSON, V. G.; LORINI, M. L.; BERGAMO, R. B. A.; RIBEIRO, M. F.; COSTA, A. J. S. T.; ABDO, O. E. Índices de geodiversidade: aplicações de SIG em estudos de biodiversidade. In: GARAY, I.; DIAS, B. F. S. (Orgs.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Rio de Janeiro: Vozes, 2001. p. 299-316.

Trabalho enviado em 18/11/2018

Trabalho aceito em 18/12/2018