

A GRUTA DE PATAMUTÉ COMO EXPRESSÃO DA GEODIVERSIDADE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GEOMORFOLÓGICO ATRAVÉS DO SAPGEO

FELIPE GONÇALVES CAMPOS

Mestrando em Ciências Ambientais (PPGCTA), Universidade de Pernambuco (UPE) – Campus Petrolina, Petrolina – PE, Brasil. Endereço: BR 203 Km 02 - Vila Eduardo.
Email: felipe.campos@upe.br ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4816-6714>

THAÍS DE OLIVEIRA GUIMARÃES

Professora do Colegiado de Geografia, Universidade de Pernambuco (UPE) – Campus Petrolina, Petrolina – PE, Brasil. Endereço: BR 203 Km 02 - Vila Eduardo.
Email: thais.guimaraes@upe.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2907-3209>

JACIMÁRIA FONSECA DE MEDEIROS

Professora do Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) – Campus Avançado de Pau dos Ferros.
Email: jacimariamedeiros@uern.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4394-1663>

RAFAELA SOUSA DA SILVA

Doutoranda em Ciências Ambientais (PPGCTA), Universidade de Pernambuco (UPE) – Campus Petrolina, Petrolina – PE, Brasil. Endereço: BR 203 Km 02 - Vila Eduardo.
Email: rafaela.sousas@upe.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8248-1140>

Recebido:01/26

Avaliado:02/26

Publicado:03/26

RESUMO:

A geodiversidade é um componente vital do patrimônio natural, exigindo métodos quantitativos para estratégias de conservação. Este estudo avalia o patrimônio geomorfológico da Gruta de Patamutê (Curaçá, Bahia), inserida no semiárido do Submédio São Francisco. A metodologia baseou-se no inventário de Pereira et al. (2007), sistematizado pelo software SAPGeo, que fundamenta a transição para a geomorfometria digital e mitiga subjetividades analíticas. Os resultados indicaram um Valor Total de 12,14. A análise comparativa com geossítios nacionais consolidados (Lapa Doce e Poço Encantado) revelou que a Gruta de Patamutê detém um Valor Científico (VCi = 3,75) superior às referências estaduais, embora a sua relevância total seja penalizada por lacunas críticas de gestão (VPr = 1,25). Conclui-se que a integração do SAPGeo como “sentinela digital” e a adoção de modelos de Ciência Cidadã permite um monitoramento dinâmico e participativo, elevando a resiliência da comunidade local e garantindo a sustentabilidade deste geomorfossítio estratégico.

Palavras-chave: Geopatrimônio; Geomorfometria Digital; Ciência Cidadã; SAPGeo; Geoconservação.

THE PATAMUTÉ CAVE AS AN EXPRESSION OF THE GEODIVERSITY OF THE LOWER-MIDDLE SÃO FRANCISCO: EVALUATION OF GEOMORPHOLOGICAL POTENTIAL USING SAPGEO

ABSTRACT:

Geodiversity is a vital component of natural heritage, requiring quantitative methods for conservation strategies. This study evaluates the geomorphological heritage of the Patamutê Cave (Curaçá, Bahia), located in the semi-arid region of the Submédio São Francisco. The methodology was based on the inventory by Pereira et al. (2007), systematized by SAPGeo software, which supports the transition to digital geomorphometry and mitigates analytical subjectivities. The results indicated a Total Value of 12.14. A comparative analysis with consolidated national geosites (Lapa Doce and Poço Encantado) revealed that the Patamutê Cave has a Scientific Value (VCi = 3.75) higher than the state references, although its total relevance is penalized by critical management gaps (VPr = 1.25). It is concluded that the integration of SAPGeo as a “digital sentinel” and the adoption of Citizen Science

models allow for dynamic and participatory monitoring, increasing the resilience of the local community and ensuring the sustainability of this strategic geomorphosite.

Keywords: Geopatrimony; Digital Geomorphometry; Citizen Science; SAPGeo; Geoconservation.

INTRODUÇÃO

A geodiversidade corresponde ao conjunto de elementos abióticos da natureza, incluindo rochas, minerais, fósseis, solos, formas de relevo e processos geomorfológicos responsáveis pela formação e evolução das paisagens terrestres. Nas últimas décadas, esse conceito tem adquirido crescente relevância nas ciências da Terra ao ser reconhecido como componente fundamental do patrimônio natural e como base para a compreensão da evolução da paisagem e da dinâmica ambiental. Nesse contexto, a valorização da geodiversidade não representa apenas a variedade física do planeta, mas também um patrimônio científico, educativo, cultural e estético que deve ser identificado, valorizado e conservado (Gray, 2004).

O reconhecimento da geodiversidade como elemento essencial do patrimônio natural tem impulsionado o desenvolvimento de estudos voltados à identificação, inventariação e avaliação de locais que apresentam relevância científica e paisagística. Esses locais são frequentemente classificados como geossítios, sendo considerados componentes fundamentais do chamado geopatrimônio, conceito que abrange os elementos da geodiversidade que possuem valor científico, educativo, cultural ou turístico e que, por essa razão, demandam estratégias específicas de gestão e conservação.

No âmbito da geomorfologia, os locais de interesse científico associados às formas de relevo são frequentemente classificados como geomorfossítios, caracterizados por feições geomorfológicas que apresentam valor científico, estético, cultural ou socioeconômico relacionado à sua gênese e evolução geomorfológica (Reynard et al., 2007).

A identificação e avaliação desses locais constituem etapas fundamentais das estratégias de geoconservação, uma vez que permitem reconhecer áreas prioritárias para ações de preservação e gestão do patrimônio geomorfológico. Diversos métodos têm sido propostos para inventariar e avaliar geossítios, possibilitando a aplicação de critérios científicos sistematizados para hierarquizar locais de interesse geomorfológico e subsidiar políticas de gestão territorial (Coratza & Giusti, 2005; Brilha, 2016).

Nas últimas décadas, o interesse científico pelos conceitos de geodiversidade, geopatrimônio e geoconservação tem crescido significativamente, refletindo o reconhecimento da importância desses elementos para a conservação da natureza e para o desenvolvimento de estratégias de planejamento territorial sustentável. Estudos recentes destacam o caráter interdisciplinar dessas abordagens, que articulam conhecimentos das geociências, do planejamento ambiental e do turismo sustentável (CORATZA et al., 2018).

Nesse contexto, a valorização da geodiversidade tem se consolidado também como um importante vetor para o desenvolvimento do geoturismo, modalidade turística baseada na interpretação do patrimônio geológico e geomorfológico e na valorização das paisagens naturais. O geoturismo busca promover a conservação do patrimônio geológico ao mesmo tempo em que estimula o desenvolvimento socioeconômico local por meio da educação ambiental e da interpretação científica da paisagem (Hose, 2012; Dowling, 2013).

No Brasil, particularmente nas regiões semiáridas, a geodiversidade apresenta elevada riqueza e singularidade, refletindo a longa evolução geológica e geomorfológica dessas paisagens. O domínio da Caatinga abriga uma diversidade significativa de formas de relevo, estruturas geológicas e sistemas cársticos que testemunham processos geomorfológicos complexos associados às condições climáticas semiáridas e à dinâmica fluvial regional.

Apesar dessa expressiva diversidade abiótica, muitos desses elementos permanecem sub-representados em inventários de geopatrimônio, o que evidencia a necessidade de estudos

voltados à identificação e avaliação de geossítios que possam contribuir para a valorização e conservação da geodiversidade regional.

No contexto do semiárido brasileiro, estudos recentes têm destacado a importância da integração entre pesquisas sobre geopatrimônio, ações de geoeducação e iniciativas de geoconservação como estratégias para ampliar o reconhecimento da geodiversidade e fortalecer o desenvolvimento territorial sustentável (Medeiros, 2025). Nesse sentido, a articulação entre patrimônio natural, educação ambiental e turismo científico tem sido apontada como um caminho promissor para a valorização das paisagens naturais do semiárido (Guimarães, 2025; Guimarães et al., 2025).

A despeito da riqueza abiótica observada no semiárido brasileiro, existe uma lacuna crítica na literatura internacional quanto à caracterização de sistemas cársticos em regiões de clima seco, visto que o foco científico tradicionalmente recai sobre ambientes tropicais úmidos ou temperados. Esta sub-representação compromete estratégias de planejamento territorial sustentável, exigindo abordagens que articulem a singularidade geológica da Caatinga a ferramentas digitais de gestão. Nesse sentido, a compreensão da evolução de feições espeleotêmicas em domínios semiáridos exige o suporte das teorias clássicas de dissolução e precipitação mineral, conforme sistematizado por Ford e Williams (2007).

Entre os ambientes de grande relevância geomorfológica presentes nessa região destacam-se os sistemas cársticos, resultantes da dissolução de rochas solúveis e responsáveis pela formação de feições como cavernas, dolinas e condutos subterrâneos. Essas formações constituem registros importantes da evolução geomorfológica regional e frequentemente apresentam elevado valor científico, paisagístico e cultural.

Nesse cenário, destaca-se a Gruta de Patamuté, localizada no município de Curaçá, no norte do estado da Bahia, inserida na região do Submédio São Francisco. A gruta constitui uma formação cárstica de grande relevância geomorfológica e paisagística, além de apresentar forte significado cultural para a população local, sendo tradicionalmente associada a práticas religiosas e eventos de romaria que mobilizam fluxos periódicos de visitantes.

Apesar de sua relevância científica e cultural, a Gruta de Patamuté permanece relativamente pouco estudada sob a perspectiva do geopatrimônio e da geoconservação, evidenciando a necessidade de investigações que permitam avaliar seu valor geomorfológico e seu potencial para o desenvolvimento de estratégias de gestão territorial e valorização turística sustentável.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o patrimônio geomorfológico da Gruta de Patamuté por meio da aplicação da metodologia de quantificação proposta por Pereira et al. (2007), utilizando o aplicativo SAPGeo como ferramenta de apoio para sistematização e análise dos indicadores de avaliação de geossítios. A sistematização da avaliação quantitativa pelo SAPGeo fundamenta-se na atribuição de valores numéricos a indicadores de relevância científica, cultural e de uso. A estrutura lógica do sistema organiza esses dados em dois eixos analíticos fundamentais:

1. **Valor Geomorfológico (VGm):** Reflete a relevância científica intrínseca e os atributos adicionais (estéticos e culturais) do geossítio;
 - a. $VGm = VCi + VAd$
2. **Valor de Gestão (VGt):** Avalia as condições operacionais de uso e a urgência de estratégias de conservação;
 - a. $VGt = VUs + VPr$

3. **Valor Total (VT)** constitui o índice sintético final, permitindo a hierarquização do geossítio no contexto do patrimônio regional.

a. $VT = VGm + VGt$

O processamento automatizado via SAPGeo mitiga a subjetividade do avaliador e reduz erros de cálculo manual, garantindo a reprodutibilidade metodológica exigida em periódicos de alto impacto.

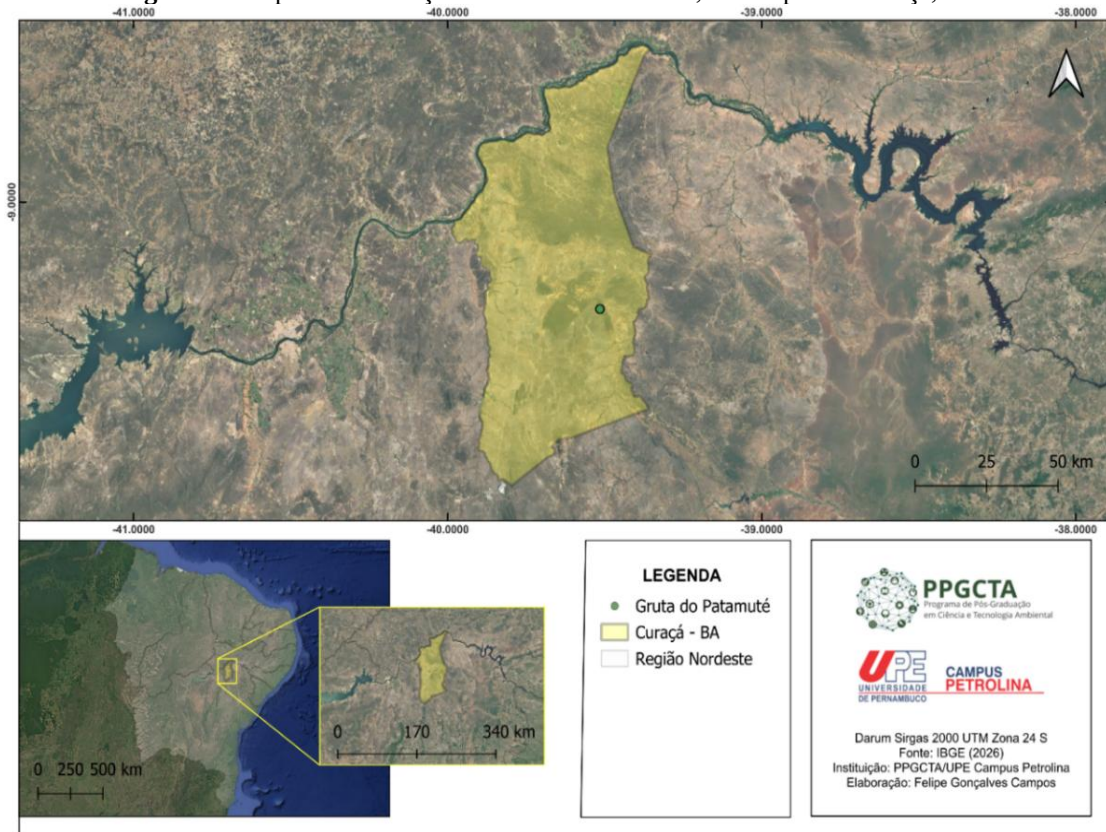
MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde à Gruta de Patamuté, localizada no município de Curaçá, no norte do estado da Bahia, inserida na região do Submédio São Francisco, no Nordeste do Brasil. O geossítio situa-se aproximadamente nas coordenadas 09°18'53"S e 39°31'12"W, em uma área caracterizada por condições ambientais típicas do semiárido brasileiro, com clima quente e seco, regime pluviométrico irregular e cobertura vegetal predominante de Caatinga (Figura1).

A região do Submédio São Francisco apresenta elevada diversidade geomorfológica resultante da interação entre estruturas geológicas antigas, processos erosivos prolongados e condições climáticas semiáridas que favorecem a exposição de formações rochosas e o desenvolvimento de feições cársticas.

A Gruta de Patamuté constitui uma cavidade natural de expressiva dimensão e relevância paisagística, formada em rochas carbonáticas e caracterizada pela presença de diversos espeleotemas, como estalactites, estalagmites e colunas calcíticas. Essas formações resultam de processos de dissolução e precipitação mineral associados à dinâmica hidrogeológica dos ambientes cársticos.

Figura 1 - Mapa de localização da Gruta de Patamuté, município de Curaçá, Bahia.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2026).

Além de sua relevância geomorfológica, o local apresenta forte significado cultural e religioso para a população regional, sendo tradicionalmente associado a práticas religiosas e romarias que atraem visitantes de diferentes localidades do Vale do São Francisco.

A avaliação do patrimônio geomorfológico da Gruta de Patamutê foi realizada com base na metodologia de quantificação de geossítios proposta por Pereira et al. (2007). Essa metodologia fundamenta-se na atribuição de valores numéricos a diferentes indicadores relacionados às características científicas, culturais e de uso do geossítio, permitindo a obtenção de um índice sintético que expressa sua relevância geomorfológica.

Métodos de inventariação e avaliação quantitativa são amplamente utilizados em estudos de geoconservação, pois permitem identificar, classificar e hierarquizar locais de interesse geomorfológico com base em critérios científicos sistematizados (Brilha, 2016). Nesse contexto, a aplicação de metodologias quantitativas possibilita reduzir subjetividades na análise e estabelecer parâmetros comparativos entre diferentes geossítios (Reynard et al., 2007; Coratza & Giusti, 2005).

A metodologia utilizada organiza os critérios de avaliação em dois grupos principais: Valor Geomorfológico (VGm) e Valor de Gestão (VGt).

O Valor Geomorfológico (VGm) corresponde às características intrínsecas do geossítio e resulta da soma entre:

- **Valor Científico (VCi);**
- **Valor Adicional (VAd).**

O Valor de Gestão (VGt) refere-se às condições de uso e conservação do local e é obtido pela soma entre:

- **Valor de Uso (VUs);**
- **Valor de Preservação (VPr).**

A partir desses indicadores são calculados os seguintes índices:

- **$VGm = VCi + VAd$;**
- **$VGt = VUs + VPr$;**
- **$VT = VGm + VGt$.**

O **Valor Total (VT)** representa o índice final utilizado para expressar a relevância do geossítio no contexto do patrimônio geomorfológico.

Para operacionalizar o processo de inventariação e cálculo dos índices de avaliação foi utilizado o SAPGeo¹ (Sistema de Avaliação de Patrimônio Geomorfológico), um aplicativo digital desenvolvido pelo primeiro autor deste estudo durante o curso de mestrado em andamento no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade de Pernambuco – Campus Petrolina.

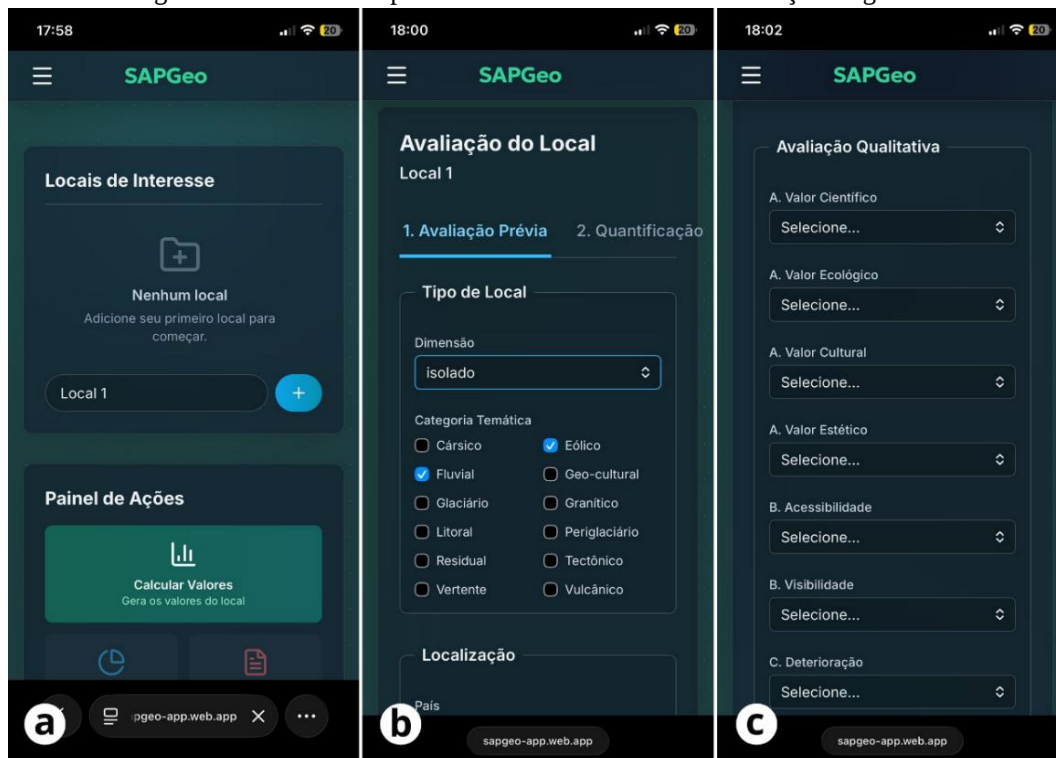
O SAPGeo consiste em uma aplicação digital desenvolvida com o objetivo de sistematizar o processo de inventariação e quantificação de locais de interesse geomorfológico, permitindo registrar dados obtidos em campo e automatizar os cálculos necessários para obtenção dos indicadores de avaliação do geopatrimônio (Figura 2).

Adicionalmente, a ferramenta apresenta elevada versatilidade operacional em ambientes remotos, podendo ser utilizada nos mais diversos contextos de campo, independentemente da

¹ Disponível para acesso através do endereço eletrônico: <https://sapgeo-app.web.app/>.

conectividade imediata. Em locais desprovidos de sinal de internet, o SAPGeo mantém sua funcionalidade em modo *offline*, desde que a aba do navegador no dispositivo móvel (celular ou *tablet*) permaneça aberta em segundo plano, garantindo a integridade e a continuidade da coleta de dados até a sua posterior sincronização.

Figura 2 - Interface do aplicativo SAPGeo utilizado na avaliação do geossítio.



Fonte: Elaborado pelo autor via SAPGeo, (2025).

A estrutura operacional do sistema está organizada em dois módulos principais: inventariação e quantificação.

Na etapa de inventariação são registrados dados gerais do geossítio, incluindo:

- **Identificação do local avaliado;**
- **Localização geográfica;**
- **Caracterização geomorfológica;**
- **Descrição das feições de relevo;**
- **Registros fotográficos obtidos durante o trabalho de campo.**

Na etapa de quantificação são atribuídos valores numéricos aos critérios de avaliação definidos pela metodologia de Pereira et al. (2007), os quais são utilizados para calcular os indicadores de avaliação do geossítio.

Esses critérios estão distribuídos entre os quatro indicadores principais utilizados na metodologia:

- **Valor Científico (VCi);**
- **Valor Adicional (VAd);**
- **Valor de Uso (VUs);**
- **Valor de Preservação (VPr).**

A partir da inserção desses dados, o sistema processa automaticamente os cálculos necessários para obtenção dos índices Valor Geomorfológico (VGm), Valor de Gestão (VGt) e Valor Total (VT) do geossítio.

O desenvolvimento e a aplicação do SAPGeo alinham-se à tendência global de expansão das pesquisas em geoconservação, na qual o Brasil se posiciona como um dos cinco países mais produtivos do mundo. Conforme apontam Quesada-Valverde e Quesada-Román (2023), o uso de ferramentas digitais e o gerenciamento do geopatrimônio (geomanagement) constituem hoje recursos fundamentais para dar suporte à visualização e ao uso sustentável de geossítios. Nesse sentido, o software supre a demanda por métodos que automatizam processos de inventariação e avaliação em escala regional, integrando a coleta de dados de campo ao processamento quantitativo sistematizado, etapa considerada basilar em estratégias de geoconservação contemporâneas.

Um diferencial estratégico da arquitetura do SAPGeo reside na sua capacidade de interoperabilidade de dados dentro de um ecossistema de geoprocessamento mais amplo. Além da geração de relatórios técnicos, gráficos de radar e quadros de seriação final, o sistema foi projetado para exportar metadados em formatos abertos (como JSON), permitindo que o inventário de um determinado local seja salvo, modificado e/ou atualizado periodicamente. Essa funcionalidade é fundamental para o planejamento territorial, pois possibilita que os indicadores quantificados da Gruta de Patamuté sejam espacializados e cruzados com outras camadas de vulnerabilidade ambiental ou planos de uso do solo no Submédio São Francisco, elevando a ferramenta de um simples calculador a um nó ativo em uma rede de monitoramento geoespacial regional.

O processamento automatizado via SAPGeo contribui para a mitigação da subjetividade inerente à avaliação analógica e reduz erros de cálculo, garantindo a reprodutibilidade metodológica necessária para estudos de alto impacto. Essa abordagem consolida a transição da geomorfologia analógica para a geomorfometria digital, na qual o uso de algoritmos permite uma caracterização objetiva e estatística das formas de relevo, seguindo as premissas de Hengl e Reuter (2009).

Além do cálculo dos indicadores, o SAPGeo possibilita organizar e visualizar os resultados obtidos, permitindo a geração de quadros comparativos e relatórios analíticos que auxiliam na interpretação dos dados e na sistematização das informações coletadas durante o trabalho de campo.

Dessa forma, a utilização do sistema representa uma ferramenta importante para estudos de inventariação e avaliação do patrimônio geomorfológico, contribuindo para ampliar as possibilidades de análise do geopatrimônio em diferentes contextos territoriais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da metodologia de avaliação resultou em um Valor Total (VT) de 12,14, indicando elevada relevância geomorfológica da Gruta de Patamuté no contexto da geodiversidade do Submédio São Francisco.

Os valores atribuídos aos indicadores utilizados na avaliação encontram-se sintetizados na (Tabela 1), que apresenta o resultado da quantificação dos parâmetros geomorfológicos do geossítio. A interpretação desses dados demonstra que o Valor Geomorfológico (VGm) constitui o principal componente responsável pela pontuação final do geossítio, associada às características intrínsecas.

Tabela 1 - Quadro de valores finais da Gruta de Patamutê

Indicador	Valor
Valor Científico (VCi)	3,75
Valor Adicional (VAd)	3,62
Valor Geomorfológico (VGm)	7,37
Valor de Uso (VUs)	3,52
Valor de Preservação (VPr)	1,25
Valor de Gestão (VGt)	4,77
Valor Total (VT)	12,14

Fonte: Elaborado pelo autor via SAPGeo, (2025).

Ao comparar o Valor Total (VT = 12,14) da Gruta de Patamutê com inventários globais que utilizam a metodologia de Pereira *et al.* (2007), observa-se uma configuração singular de relevância. Enquanto muitos geomorfossítios europeus em regiões temperadas apresentam altos índices científicos, mas baixos valores adicionais, o geossítio de Patamutê destaca-se pelo seu Valor Adicional (VAd = 3,62). Este fenômeno é explicado pela integração indissociável entre a geodiversidade cárstica e o patrimônio imaterial da romaria. Em termos de comparação internacional, a pontuação de Patamutê a coloca em um patamar de importância regional superior, onde a 'geodiversidade cultural' atua como o principal catalisador para estratégias de conservação baseadas na comunidade, superando geossítios de maior porte físico, mas de menor relevância simbólica.

Os valores Valor Geomorfológico (VGm) e Preservação (VPr) sintetizados na (Tabela 2) representam o potencial científico e estético intrínseco do local (soma de VCi e VAd), enquanto o Valor de Preservação (VPr) reflete a eficácia das medidas de gestão e proteção atuais.

Tabela 2 - Matriz de Indicadores: Valor Geomorfológico (VGm) vs. Valor de Preservação (VPr).

Geossítio	Localização	VGm (VCi +VAd)	VPr (Preservação)	VT (Total)
Gruta de Patamutê	Curaçá-BA	7,37	1,25	12,14
Gruta da Lapa Doce	Iraquara-BA	7,00	3,30	14,50
Caverna do Poço Encantado	Itaetê-BA	6,50	3,65	14,25

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), baseado em dados deste estudo e de Pereira (2010).

A interpretação da (Tabela 2) permite situar a Gruta de Patamutê em um contexto de relevância espeleológica estadual, estabelecendo um confronto direto com geossítios consolidados da Chapada Diamantina. A escolha das grutas da Lapa Doce e do Poço Encantado como parâmetros de comparação fundamenta-se na paridade metodológica, visto que ambos foram inventariados e quantificados por Pereira (2010) através da matriz de indicadores que serviu de base para o desenvolvimento do *software* SAPGeo. Esta homogeneidade ambiental e geológica — todas inseridas em contextos de rochas carbonáticas do Cráton do São Francisco — garante que as discrepâncias observadas nos índices reflitam, de fato, as particularidades de gestão e integridade de cada local.

Um dos pontos de maior destaque na análise reside no Valor Científico (VCi). É notável que a Gruta de Patamutê apresenta um índice de 3,75, superando os valores atribuídos à Gruta

da Lapa Doce e à Caverna do Poço Encantado, que detêm a pontuação de 3,00 neste quesito. Este dado revela que, embora Patamutê não possua a mesma extensão horizontal de sistemas cársticos mais famosos, sua integridade física e a raridade local de suas feições metacarbonáticas no Submédio São Francisco conferem-lhe uma importância geológica intrínseca superior. Tal superioridade científica reforça a necessidade de reconhecimento do sítio não apenas como um espaço de manifestação religiosa, mas como um monumento geomorfológico de relevância acadêmica comprovada.

Entretanto, o equilíbrio de indicadores é rompido ao analisarmos o Valor de Preservação (VPr). Enquanto os geossítios da Chapada Diamantina apresentam índices de preservação elevados — 3,30 para a Lapa Doce e 3,65 para o Poço Encantado —, a Gruta de Patamutê registra um valor crítico de 1,25. Esta disparidade é o "calcanhar de Aquiles" do geossítio estudado: os altos valores de conservação observados nos exemplos nacionais são reflexo de planos de manejo estruturados, controle de capacidade de carga e infraestrutura de recepção, elementos que ainda são inexistentes em Patamutê. É este baixo VPr que penaliza o Valor Total (VT) da gruta (12,14), mantendo-o abaixo dos patamares de excelência da Lapa Doce (14,50) e do Poço Encantado (14,25).

Em suma, a matriz comparativa evidencia o paradoxo de Patamutê: um geossítio com potencial científico bruto superior, mas imerso em uma profunda vulnerabilidade institucional. Este cenário ratifica cientificamente a urgência da implementação de ferramentas tecnológicas de monitoramento, como o sistema SAPGeo, para mitigar os riscos de degradação antrópica e elevar o patamar de gestão da área. A transição para um modelo de "sentinela digital" apresenta-se, portanto, não como uma opção acadêmica, mas como uma estratégia mandatória para que o Valor de Preservação possa, futuramente, equivaler-se à grandeza do seu patrimônio geomorfológico.

A Gruta de Patamutê apresenta um Valor Geomorfológico robusto ($VGm = 7,37$), impulsionado pela integridade de seus espeleotemas. Contudo, observa-se uma antítese crítica: o Valor de Preservação ($VPr = 1,25$) é o indicador com menor pontuação, revelando uma fragilidade institucional profunda na gestão da área.

Esta discrepância sugere que, embora a relevância científica seja elevada, a ausência de sinalização e o fluxo desordenado de visitantes durante a romaria do Sagrado Coração de Jesus colocam em risco a integridade física do geossítio. No contexto do Geoturismo Religioso, a interação entre o geopatrimônio e a manifestação cultural local não deve ser vista apenas como um 'uso', mas como um vetor de geoconservação baseada na comunidade, onde o vínculo simbólico com a paisagem natural atua como ferramenta de proteção do patrimônio abiótico.

O elevado valor geomorfológico obtido reflete principalmente a presença de feições cársticas bem preservadas e de espeleotemas desenvolvidos, indicando a elevada integridade geomorfológica da cavidade. Esses elementos representam registros importantes de processos geomorfológicos associados à dissolução de rochas carbonáticas e à dinâmica hidrogeoquímica dos ambientes subterrâneos.

A presença dessas formações evidencia a atuação prolongada de processos de circulação de água subterrânea e precipitação mineral responsáveis pela formação de estalactites, estalagmites e colunas calcíticas. Tais feições constituem registros relevantes da evolução geomorfológica da cavidade e contribuem para ampliar o valor científico do geossítio.

A relevância científica identificada na Gruta de Patamutê converge com as estatísticas mundiais que apontam os ambientes cársticos como um dos principais contextos geomorfológicos para o desenvolvimento de pesquisas em patrimônio geológico e geoturismo. Segundo a revisão bibliométrica de Quesada-Valverde e Quesada-Román (2023), o mapeamento geomorfológico e o inventário sistemático são os métodos predominantes para promover a geoconservação em escala global. No caso de cavernas, a literatura destaca que a principal vertente de investigação reside no exame das motivações turísticas e na gestão do

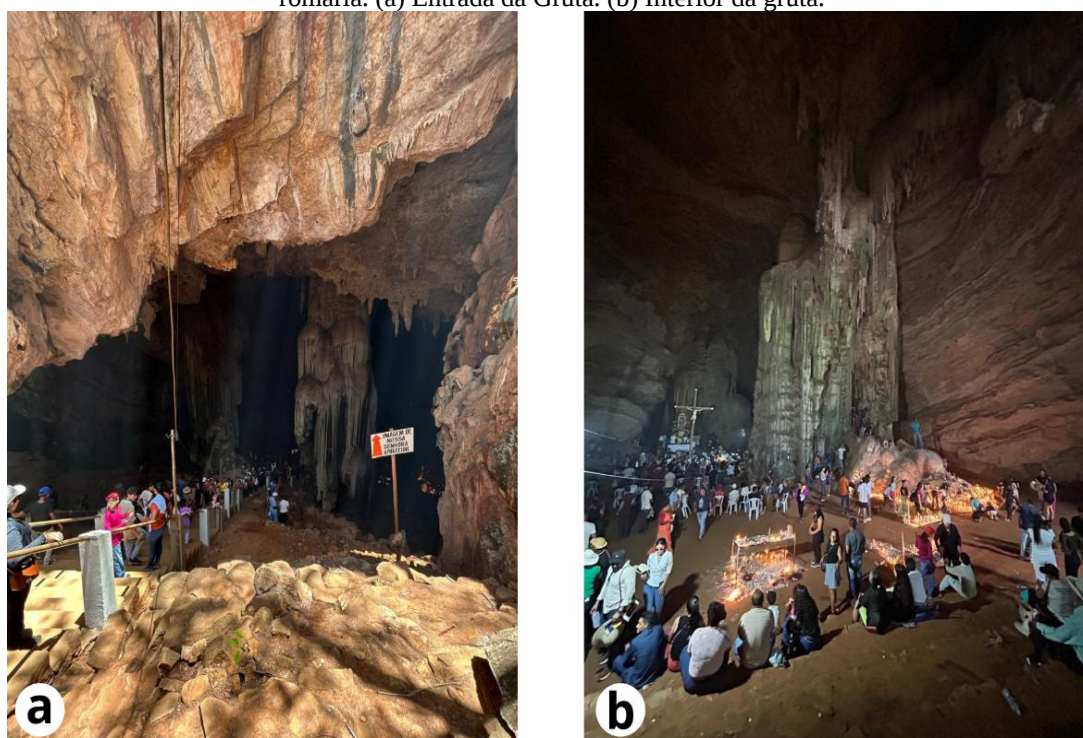
geoturismo, validando a abordagem aqui adotada ao integrar a análise quantitativa do geossítio à dinâmica cultural da romaria regional.

Além do valor científico associado às feições geomorfológicas, a gruta apresenta elevado Valor Adicional (VAd), relacionado principalmente aos aspectos paisagísticos e culturais do local. A beleza cênica do interior da cavidade, marcada pela diversidade de espeleotemas e pela amplitude espacial da gruta, contribui para ampliar o valor estético da paisagem subterrânea.

A (Figura 3) apresenta registros fotográficos do interior da gruta, evidenciando a presença dessas formações e o fluxo de visitantes durante eventos religiosos realizados no local. A observação direta dessas estruturas durante o trabalho de campo permitiu identificar a integridade morfológica das formações, aspecto que reforça o valor científico e paisagístico do geossítio.

160

Figura 3 - Interior da Gruta de Patamuté, evidenciando espeleotemas e o fluxo de visitação turística em dia de romaria. (a) Entrada da Gruta. (b) Interior da gruta.



Fonte: Elaborado pelos autores, (2025).

Outro aspecto relevante identificado na análise refere-se à dimensão cultural associada ao geossítio. Anualmente, entre os dias 30 de outubro e 1º de novembro, ocorre no município de Curaçá uma tradicional romaria em honra ao Sagrado Coração de Jesus, reunindo fiéis e visitantes provenientes de diferentes localidades do Vale do São Francisco.

Durante esse período, a gruta torna-se espaço de peregrinação, oração e celebrações religiosas, intensificando significativamente o fluxo de visitantes e reforçando o vínculo simbólico entre a paisagem natural e as práticas culturais da comunidade local.

Essa interação entre elementos da geodiversidade e manifestações de religiosidade popular evidencia como determinadas paisagens naturais podem adquirir significados culturais e espirituais para as populações que com elas se relacionam.

Nesse sentido, a presença dessa manifestação religiosa contribui para ampliar o Valor Adicional do geossítio, uma vez que agrega dimensões culturais e simbólicas ao patrimônio geomorfológico local. A relação entre paisagem natural e manifestações culturais também

evidencia o potencial do geossítio para o desenvolvimento de iniciativas de valorização territorial baseadas no patrimônio natural.

A dinâmica observada na Gruta de Patamutê pode ser interpretada também sob a perspectiva do geoturismo religioso, modalidade em que a visita motivada por práticas de fé ocorre em ambientes naturais de relevância paisagística ou patrimonial. A literatura internacional tem destacado que o geoturismo desempenha papel importante na valorização e interpretação do patrimônio geológico e geomorfológico, contribuindo para ampliar a compreensão pública das paisagens naturais e estimular estratégias de conservação associadas ao turismo sustentável (Hose, 2012; Dowling, 2013).

No que se refere aos aspectos de gestão, o Valor de Uso (VUs) indica que o local apresenta condições relativamente favoráveis para atividades de visita e potencial desenvolvimento geoturístico. A visibilidade da gruta na paisagem e o reconhecimento cultural associado às romarias contribuem para ampliar o interesse público pelo geossítio.

Entretanto, o Valor de Preservação (VPr) apresentou pontuação inferior aos demais indicadores, evidenciando fragilidades relacionadas à gestão e conservação da área.

Durante o trabalho de campo foram observadas limitações associadas à ausência de sinalização interpretativa e à falta de organização do fluxo de visitantes no interior da cavidade, fatores que podem representar riscos potenciais para a integridade das formações espeleotemáticas.

Nesse contexto, torna-se fundamental a implementação de estratégias de geoconservação, capazes de conciliar a valorização turística do geossítio com a preservação de suas feições naturais.

Diante da fragilidade observada no componente de gestão da Gruta de Patamutê, especialmente refletida no reduzido Valor de Preservação (VPr = 1,25), a implementação de um Plano de Manejo Espeleológico torna-se imperativa para garantir a integridade das feições cársticas e dos espeleotemas identificados. Propõe-se um zoneamento de uso que delimite áreas de "Uso Intensivo" nos locais de celebração da tradicional romaria em honra ao Sagrado Coração de Jesus e "Zonas de Proteção Integral" para os setores que abrigam formações mais vulneráveis, como estalactites e colunas calcíticas de elevado valor científico e estético. Além disso, a integração de painéis interpretativos que conectem a gênese geomorfológica à história cultural e religiosa da região pode converter o expressivo fluxo de visitantes em um vetor estratégico de geoconservação ativa e valorização do geopatrimônio no semiárido.

Neste cenário, o SAPGeo transcende a função de inventariação estática, consolidando-se como uma plataforma de monitoramento dinâmico do geopatrimônio. A ferramenta permite a atualização sistemática dos indicadores de Valor de Uso (VUs) e Valor de Preservação (VPr) em intervalos sazonais, possibilitando que gestores ambientais identifiquem variações no Valor Total (VT) decorrentes do impacto da visita desordenada. Através da geração de relatórios comparativos automáticos, o sistema oferece suporte técnico para o ajuste em tempo real do zoneamento proposto, servindo como uma sentinela digital que assegura a reprodutibilidade dos dados e a precisão nas intervenções de manejo necessárias para a sustentabilidade do geossítio no Submédio São Francisco.

A função do SAPGeo como 'sentinela digital' adquire ainda mais relevância frente aos desafios das mudanças climáticas globais no domínio da Caatinga. Sistemas cársticos como a Gruta de Patamutê funcionam como arquivos paleoclimáticos e refúgios térmicos estáveis. Propõe-se, portanto, a instalação de sinalização interpretativa dotada de *QR Codes* vinculados à base de dados do *software*. Essa inovação permite que o romeiro ou turista acesse informações em tempo real sobre a fragilidade dos espeleotemas e a gênese da cavidade, transformando o ato da visita em um processo de coleta de dados participativa (*Citizen Science*). O monitoramento dinâmico via SAPGeo permite detectar se a pressão antrópica durante as romarias está alterando o Valor de Preservação (VPr), oferecendo aos gestores locais um

suporte técnico para intervenções de manejo baseadas em evidências científicas e tecnológicas contemporâneas.

A adoção desse modelo de monitoramento participativo fundamenta-se no conceito de Ciência Cidadã (*Citizen Science*), onde a coleta de Informação Geográfica Voluntária (VGI) por meio de dispositivos móveis atua como uma ferramenta de suporte à gestão. Conforme demonstrado por Németh *et al.* (2021), o uso de *Crowdsourcing* e *Big Data* permite identificar padrões de visitação e lacunas na promoção da geoeducação, garantindo que locais de alto valor científico, mas baixa visibilidade, recebam a devida proteção institucional. No caso da Gruta de Patamuté, a integração tecnológica via SAPGeo não apenas sistematiza o conhecimento de especialistas, mas democratiza a geoconservação, elevando a resiliência da comunidade local frente aos desafios de preservação em ambientes cársticos ativos.

A proposição de instalação de sinalização interpretativa dotada de *QR Codes* vinculados ao SAPGeo responde à tendência global de utilizar tecnologias em dispositivos móveis para aprimorar a geolocalização e a geointerpretação. Quesada-Valverde e Quesada-Román (2023) ressaltam que tais ferramentas digitais são recursos chave para popularizar o geopatrimônio e aumentar a conscientização ambiental dos visitantes. Além de promover a geoeducação, essa inovação tecnológica atua como suporte ao geogerenciamento (*geomangement*), permitindo uma administração adequada que mitigue os riscos de degradação em geossítios sob forte pressão antrópica, garantindo que o desenvolvimento do geoturismo ocorra de forma inovadora, sustentável e lucrativa para as populações locais.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a importância da Gruta de Patamuté como elemento representativo da geodiversidade do Submédio São Francisco, evidenciando seu potencial para iniciativas integradas de geoconservação, educação ambiental e geoturismo no Submédio São Francisco.

CONCLUSÕES

A avaliação do patrimônio geomorfológico da Gruta de Patamuté, realizada por meio do SAPGeo baseada na metodologia de quantificação proposta por Pereira *et al.* (2007), evidenciou a elevada relevância deste geossítio no contexto da geodiversidade do Submédio São Francisco.

O Valor Total (VT) de 12,14 obtido na análise confirma a importância científica, paisagística e cultural da cavidade, destacando seu potencial para iniciativas voltadas à valorização do geopatrimônio e ao desenvolvimento de atividades de geoturismo na região.

Os resultados demonstraram que o Valor Geomorfológico (VGm) constitui o principal componente responsável pela pontuação final do geossítio, refletindo a presença de feições cársticas expressivas e espeleotemas bem desenvolvidos que conferem elevado valor científico e estético à paisagem subterrânea. Esses elementos representam registros importantes da evolução geomorfológica regional e reforçam a relevância da cavidade como local de interesse científico.

Além dos aspectos geomorfológicos, a presença da tradicional romaria em honra ao Sagrado Coração de Jesus, realizada anualmente no município de Curaçá, reforça o papel da gruta como espaço de interação entre patrimônio natural e manifestações culturais. Essa relação entre paisagem natural e práticas religiosas amplia o valor simbólico do geossítio e evidencia sua importância para a comunidade local.

Os resultados também evidenciaram limitações relacionadas à gestão e conservação do local, particularmente no que se refere à ausência de infraestrutura interpretativa e à organização do fluxo intenso de visitantes durante eventos religiosos. Essas fragilidades indicam a necessidade de implementação de estratégias de planejamento da visitação e geoconservação,

visando garantir a proteção das feições geomorfológicas da cavidade e a sustentabilidade do uso turístico e religioso do local.

Nesse contexto, a inventariação e avaliação quantitativa de geossítios constituem ferramentas fundamentais para a identificação, classificação e gestão do patrimônio geomorfológico, contribuindo para subsidiar políticas de conservação e estratégias de planejamento territorial (Brilha, 2016).

Do ponto de vista metodológico, a utilização do SAPGeo demonstrou-se eficaz para a sistematização do processo de inventariação e quantificação de geossítios, permitindo maior padronização no registro de dados, maior precisão no cálculo dos indicadores e total autonomia operacional em áreas remotas através da funcionalidade *offline*. A aplicação dessa ferramenta digital contribui para ampliar as possibilidades de análise do geopatrimônio em ambientes semiáridos, oferecendo suporte técnico para pesquisas voltadas à geodiversidade, geoconservação e planejamento territorial.

Além disso, a valorização da Gruta de Patamutê apresenta potencial para o desenvolvimento de iniciativas de geoturismo, capazes de integrar conservação do patrimônio geomorfológico, educação ambiental e dinamização socioeconômica regional. A literatura internacional destaca que o geoturismo constitui uma importante estratégia para promover a conservação do patrimônio geológico ao mesmo tempo em que estimula o desenvolvimento sustentável de territórios que apresentam relevante geodiversidade (Hose, 2012; Dowling, 2013).

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a importância da Gruta de Patamutê como elemento representativo da geodiversidade do Submédio São Francisco, evidenciando seu potencial para iniciativas integradas de geoconservação, educação ambiental e geoturismo. Ao mesmo tempo, o estudo contribui para ampliar o conhecimento científico sobre o patrimônio geomorfológico do semiárido brasileiro e para subsidiar futuras ações de valorização e gestão sustentável deste geossítio.

Do ponto de vista metodológico, a eficácia do SAPGeo na sistematização do inventário em ambientes semiáridos oferece um suporte técnico escalável para futuras pesquisas de planejamento territorial. A valorização da Gruta de Patamutê, integrando conservação, educação ambiental e a dinâmica da romaria, demonstra que o geoturismo é uma estratégia viável para o desenvolvimento sustentável de territórios com geodiversidade relevante.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade de Pernambuco (UPE) – Campus Petrolina pelo suporte institucional. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. O primeiro autor é beneficiário de auxílio financeiro da CAPES – Brasil. Agradecemos o apoio da Cátedra UNESCO em “Geoparques, Desenvolvimento Regional Sustentável e Estilos de Vida Saudáveis” da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal.

REFERÊNCIAS

BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, v. 8, n. 2, p. 119–134, 2016.

CORATZA, P.; GIUSTI, C. Methodological proposal for the assessment of the scientific quality of geomorphosites. *Il Quaternario*, v. 18, n. 1, p. 307–313, 2005.

CORATZA, P.; REYNARD, E.; ZWOLIŃSKI, Z. Geomorphosites and geodiversity: a new domain of research. *Geoheritage*, v. 10, p. 1–8, 2018.

DOWLING, R. Global geotourism – an emerging form of sustainable tourism. *Czech Journal of Tourism*, v. 2, n. 2, p. 59–79, 2013.

FORD, D.; WILLIAMS, P. D. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.

GRAY, M. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

GUIMARÃES, T. O. Geodiversidade e geopatrimônio: ensino, pesquisa e extensão em Geografia Física. *Caderno de Geografia*, v. 35, n. Especial 1, p. 54–70, 2025.

GUIMARÃES, T. O. et al. Conexões sustentáveis: geopatrimônio, turismo e educação no submédio do rio São Francisco. In: LUBECK, E.; LISBOA FILHO, F. F.; CARVALHO, L. de (org.). *Identidades & territórios: cultura, comunicação e desenvolvimento*. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2025. p. 89–100.

HENGL, T.; REUTER, H. I. (ed.). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Amsterdam: Elsevier, 2009.

HOSE, T. A. 3G's for modern geotourism. *Geoheritage*, v. 4, n. 1–2, p. 7–24, 2012.

MEDEIROS, J. F. de. Geodiversidade e patrimônio geomorfológico no Alto Oeste Potiguar: potencialidades, desafios e perspectivas de geoconservação. *Caderno de Geografia*, v. 35, n. Especial 1, p. 71–86, 2025.

NÉMETH, B.; NÉMETH, K.; PROCTER, J. N. Visitation Rate Analysis of Geoheritage Features from Earth Science Education Perspective Using Automated Landform Classification and Crowdsourcing: A Geoeducation Capacity Map of the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Geosciences*, v. 11, n. 480, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/geosciences11110480>. Acesso em: 11 mar. 2026.

PEREIRA, P. et al. Patrimônio geomorfológico: proposta de metodologia de avaliação. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, v. 5, p. 107–126, 2007.

PEREIRA, R. G. F. A. *Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia - Brasil)*. 277 f. Tese (Doutorado em Ciências, especialidade em Geologia) – Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2010.

QUESADA-VALVERDE, M. E.; QUESADA-ROMÁN, A. Worldwide Trends in Methods and Resources Promoting Geoconservation, Geotourism, and Geoheritage. *Geosciences*, v. 13, n. 39, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/geosciences13020039>. Acesso em: 11 mar. 2026.

REYNARD, E. et al. A method for assessing “scientific” and “additional values” of geomorphosites. *Geographica Helvetica*, v. 62, n. 3, p. 148–158, 2007.