

# Proposta de metodologia para avaliação do risco de degradação de património geológico

## Proposal of a methodology for geoheritage degradation risk assessment

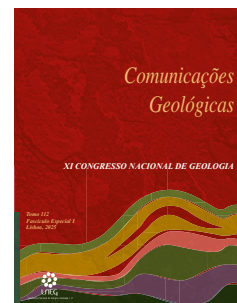
L. Selmi<sup>1</sup>, T. Canesin<sup>2</sup>, R. Gauci<sup>3</sup>, J. Vegas<sup>4</sup>, P. Pereira<sup>2\*</sup>, P. Coratza<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.34637/nsjy-p564>

Recebido em 11/10/2023 / Aceite em 07/02/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original  
Original article

**Resumo:** É apresentada uma metodologia para avaliar o risco de degradação do património geológico. A metodologia baseia-se em três critérios: vulnerabilidade natural, vulnerabilidade antrópica e uso público. Cada critério é avaliado com base em parâmetros específicos. A vulnerabilidade natural considera a possibilidade de danos causados por processos naturais não envolvidos na formação do geossítio, enquanto a vulnerabilidade antrópica tem em conta as atividades humanas relacionadas com o valor económico do geossítio. O uso público considera a possibilidade de danos causados pela localização e pela utilização atual e potencial do geossítio. Esta metodologia tem vindo a ser aplicada a geossítios em diferentes contextos e propõe uma abordagem quantitativa para contribuir para a clarificação de conceitos e procedimentos na avaliação da degradação do património geológico e para apoiar procedimentos de gestão adequados.

**Palavras-chave:** Degradação, vulnerabilidade natural, vulnerabilidade antrópica, critérios, parâmetros

**Abstract:** A methodology for assessing the risk of degradation of geoheritage is presented. The methodology is based on three criteria: natural vulnerability, anthropogenic vulnerability and public use. Each criterion is assessed based on specific parameters. Natural vulnerability considers the possibility of damage caused by natural processes not involved in the formation of the geosite, while anthropic vulnerability takes into account human activities related to the economic value of the geosite. Public use considers the possibility of damage caused by the current and potential location and use of the geosite. This methodology has been applied in geosites in different contexts and offers a quantitative approach to contribute to a clarification of concepts and procedures in geoheritage degradation assessment and to support adequate management procedures.

**Keywords:** Degradation, natural vulnerability, anthropogenic vulnerability, criteria, parameters.

### 1. Introdução

Processos naturais e ações antrópicas podem ameaçar a integridade do património geológico, sendo inúmeros os exemplos de degradação de geossítios que poderia ter sido evitada se iniciativas de conservação tivessem sido adequadamente implementadas. Em muitos casos, é impossível impedir a degradação, sobretudo devido aos processos naturais que a originam e a características específicas dos elementos da geodiversidade com valor patrimonial.

Do elevado número de propostas metodológicas para a avaliação de património geológico publicadas, a maioria centra-se nos procedimentos de inventariação e comparação dos vários tipos de valor dos geossítios, sendo poucas as que discutem procedimentos mais detalhados para avaliar a degradação. Alguns trabalhos especificam procedimentos de avaliação da degradação de património geológico (Santucci *et al.*, 2009; Fuertes-Gutierrez e Fernandez-Martinez, 2010; Fassoulas *et al.*, 2012; García-Ortiz *et al.*, 2014; Brilha, 2016) mas, no geral, não propõem indicadores claros para uma avaliação menos subjetiva e consideram apenas parcialmente os aspetos que contribuem para a degradação. Para além disso, o uso de diferentes termos (vulnerabilidade, fragilidade, sensibilidade, risco, etc.) tem levado a confusão no uso dos critérios propostos e da finalidade da sua aplicação.

É neste contexto que se considera que uma metodologia mais completa, considerando mais critérios e parâmetros de avaliação da degradação, faz falta no âmbito dos procedimentos de avaliação de património geológico. De um modo geral, a degradação do património geológico deve ser considerada em qualquer estratégia de geoconservação, quer na fase de avaliação (inventariação, caracterização e quantificação do valor) ou de gestão (monitorização) dos geossítios. A degradação pode ser avaliada numa perspetiva de passado/presente (avaliação do estado de conservação dos geossítios) ou numa perspetiva de futuro (avaliação de potencial degradação dos geossítios devido a fatores externos e às suas próprias características). É nesta segunda perspetiva que a metodologia agora proposta se insere, com base na análise de propostas metodológicas anteriores e recorrendo a terminologia típica da temática dos riscos naturais, considerando que o que se pretende é avaliar a potencialidade de degradação.

### 2. Proposta metodológica

A metodologia quantitativa proposta para a avaliação do risco de degradação do património geológico é baseada em três critérios

<sup>1</sup> Departamento de Química e Ciências Geológicas, Univ. de Modena e Reggio Emilia, Itália

<sup>2</sup> Instituto de Ciências da Terra, polo da Universidade do Minho, Braga, Portugal

<sup>3</sup> Departamento de Geografia, Universidade de Malta, Malta

<sup>4</sup> Instituto Geológico e Mineiro de Espanha, Spain

\* Corresponding author / Autor correspondente: [paolo@dct.uminho.pt](mailto:paolo@dct.uminho.pt)

principais: vulnerabilidade natural, vulnerabilidade antrópica e uso público (Selmi, 2021; Selmi *et al.*, 2022). Para cada critério, são avaliados parâmetros, os quais são pontuados de 0 a 3 pontos, de acordo com indicadores específicos (Tabela 1).

Vulnerabilidade natural considera a possibilidade de um geossítio ser danificado ou destruído por processos naturais não envolvidos na gênese dos seus valores e compreende dois parâmetros:

- Processos ativos - não envolvidos na gênese do geossítio, mas que o podem afetar; podem ter origens geológicas, climáticas e biológicas;

- Proximidade - de possível fonte de degradação devido a processos naturais ativos (como, por exemplo, erosão costeira, erupções vulcânicas ou movimentos de massa).

Vulnerabilidade antrópica considera a possibilidade de um geossítio ser danificado ou destruído por atividades humanas devido ao seu valor económico e compreende dois parâmetros:

- Interesse económico - a ocorrência de elementos da geodiversidade em exploração ou com potencial para a sua exploração económica (traduzido pela existência de atividades extrativas);

- Interesse privado - a ocorrência de recolha ilegal ou apropriação indevida de elementos da geodiversidade como fósseis e minerais para uso privado.

Uso público considera a possibilidade de um geossítio ser danificado ou destruído devido à sua localização e ao seu uso atual e potencial e compreende sete parâmetros:

- Estatuto legal - a existência de proteção legal do geossítio devido ao seu valor geológico, localização em área protegida ou com proteção devido a valor cultural ou histórico;

- Proximidade humana - proximidade do geossítio a áreas com atividades humanas que podem causar degradação;

- Acessibilidade - uma boa acessibilidade é prejudicial porque quanto mais visitantes tiver, maior é a possibilidade do geossítio ser degradado.

- Densidade populacional – a maior concentração de pessoas perto do geossítio também aumenta a probabilidade de deterioração induzida pelo homem;

- Proteção física - barreiras físicas e estruturas para proteger os geossítios limitam o contacto direto com potenciais degradadores;

- Uso inadequado - ocorrência de vestígios de utilização incorreta do geossítio como, por exemplo, vandalismo ou despejo de resíduos;

- Controlo de acesso - existência acesso controlado ao geossítio, com barreiras físicas, patrulhas de vigilância ou videovigilância.

Na interpretação direta dos resultados, a pontuação total do risco de degradação pode variar entre 0 e 33 pontos. Uma das formas possíveis de classificar os diferentes níveis de risco é considerando classes por valores equitativos. Por exemplo, se forem consideradas 4 classes de risco (baixo, moderado, elevado e muito elevado; Tabela 2), os geossítios com pontuação inferior a 7 pontos são considerados com baixo risco de degradação, enquanto o nível de risco de degradação mais elevado é atribuído aos geossítios com pontuação superior a 25 pontos.

Contudo, é necessário considerar que a destruição ou a degradação significativa de um geossítio pode ocorrer devido a apenas um dos indicadores contemplados com valor 3 pelo que, mais importante do que o valor total da avaliação, é a leitura individualizada de cada parâmetro avaliado. O valor 3 deve assim ser visto como indicador de alarme e de preocupação, independentemente dos valores totais ou parciais de critérios e parâmetros.

Tabela 2. Exemplo de classificação do risco de degradação do património geológico com base na metodologia de avaliação proposta.

Table 2. Example of classification of geoh heritage degradation risk based on the proposed assessment method.

Pontuação	Nível de risco
0-7	Baixo
$>7 \leq 15$	Moderado
$>15 \leq 25$	Elevado
$>25$	Muito elevado

A metodologia permite ainda flexibilidade em: valorização ponderada de critérios e parâmetros, em funções dos objetivos da avaliação; alteração dos valores numéricos propostos para cada indicador; ajuste dos indicadores (acessibilidade e densidade populacional, por exemplo), em função de cada contexto de avaliação.

A aplicação da metodologia a geossítios costeiros de Malta (Selmi, 2021; Selmi *et al.*, 2022) forneceu informação preciosa para a gestão adequada do património geológico local, principalmente considerando os efeitos das alterações climáticas. A maioria dos geossítios está localizada na costa, um ambiente muito dinâmico, particularmente vulnerável a perturbações e propenso a alterações, sendo os impactos das alterações climáticas considerados muito preocupantes. Os resultados mostram que a maioria dos geossítios avaliados possui risco moderado de degradação, principalmente devido à insensibilidade para a degradação por parte dos habitantes locais e dos turistas e à ausência de medidas de proteção mais tangíveis, o que tem levado a uma má utilização e má gestão pública dos geossítios. Alguns dos critérios e parâmetros foram inicialmente ensaiados na avaliação da degradação em geossítios de Portugal (Canesin *et al.*, 2021) e a metodologia tem sido aplicada na avaliação da degradação de geossítios no Brasil (Rabelo *et al.*, 2023).

### 3. Conclusões

Com esta proposta metodológica pretende-se contribuir para uma maior clarificação de conceitos e procedimentos na avaliação da degradação do património geológico. Embora esta proposta metodológica possa ser aplicada a qualquer ambiente e se baseie numa quantificação numérica que reduz a subjetividade da avaliação, pode ser modificada e adaptada a diferentes contextos e a diferentes condições morfoclimáticas no sentido de suportar medidas de gestão adequadas.

O risco de degradação resulta de fatores naturais e antrópicos, os quais determinam diferentes graus de vulnerabilidade dos sítios de património geológico. A avaliação de risco de degradação pretende ser um instrumento de priorização da gestão dos geossítios, sublinhando a importância da monitorização e da medição constantes da vulnerabilidade natural e antrópica, de forma a prevenir e evitar degradação e destruição do património geológico.

### Agradecimentos

Ao programa Erasmus+ pelo financiamento do projeto “Training new generations on geomorphology, geohazards and geoh heritage through Virtual Reality Technologies” (2021-1-SE01-KA220-HED-000032142), à Universidade de Modena e Reggio Emilia pelo financiamento do projeto FAR2021 e à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento de bolsa de doutoramento com a Ref. SFRH/BD/146016/2019.

Tabela 1. Critérios, parâmetros, indicadores e pontuações propostos para a avaliação quantitativa do risco de degradação do património geológico.

Table 1. Criteria, parameters, indicators and scores proposed for the quantitative assessment of the degradation risk of geoheritage.

<b>Critérios</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Pontos</b>
<b>Vulnerabilidade natural</b>	Processos ativos	nenhum processo ativo afeta o geossítio	0
		um processo ativo afeta o geossítio episodicamente	1
		um processo ativo afeta o geossítio continuamente ou sazonalmente	2
	Proximidade	dois ou mais processos ativos afetam o geossítio	3
		sem possibilidade de degradação	0
		um processo ativo com potencial de degradação na proximidade do geossítio	1
		dois processos ativos com potencial de degradação na proximidade do geossítio	2
	mais de dois processos ativos com potencial de degradação na proximidade do geossítio	3	
<b>Vulnerabilidade antrópica</b>	Interesse económico	ausência de elementos da geodiversidade com interesse económico	0
		o geossítio possui um elemento da geodiversidade com interesse económico	1
		o geossítio possui dois elementos da geodiversidade com interesse económico	2
		o geossítio possui mais de dois elementos da geodiversidade com interesse económico	3
	Interesse privado	ausência de elementos da geodiversidade com interesse privado	0
		o geossítio possui um elemento da geodiversidade com interesse privado	1
		o geossítio possui dois elementos da geodiversidade com interesse privado	2
		o geossítio possui mais de dois elementos da geodiversidade com interesse privado	3
<b>Uso público</b>	Estatuto legal	o geossítio está legalmente protegido devido ao seu valor geopatrimonial	0
		o geossítio está localizado em área protegida	1
		o geossítio está localizado em área com outros tipos de proteção (natural, cultural, histórica, ...)	2
		geossítio localizado em área sem qualquer estatuto de proteção	3
	Proximidade humana	o geossítio está localizado a mais de 1 km de atividade com potencial de degradação	0
		o geossítio está localizado a 500- 1000 m de atividade com potencial de degradação	1
		o geossítio está localizado a 100- 500 m de atividade com potencial de degradação	2
		o geossítio está localizado a menos de 100 m de atividade com potencial de degradação	3
	Acessibilidade	o geossítio está localizado a mais de 100 m de estrada não asfaltada ou a mais de 500 m de estrada asfaltada	0
		o geossítio está localizado a menos de 100 m de estrada não asfaltada ou a 100-500 m de estrada asfaltada	1
		o geossítio está localizado a menos de 100 m de estrada asfaltada	2
		o geossítio está localizado a menos de 100 m de estrada asfaltada com possibilidade de estacionamento de autocarro	3
	Densidade populacional	o geossítio está localizado em município com menos de 100 habitantes/km2	0
		o geossítio está localizado em município com 100-250 habitantes/km2	1
		o geossítio está localizado em município com 250-1000 habitantes/km2	2
		o geossítio está localizado em município com mais de 1000 habitantes/km2	3
	Proteção física	geossítio com proteção dos valores geopatrimoniais e com estruturas de apoio a visitação	0
		geossítio com proteção dos valores geopatrimoniais mas sem estruturas de apoio a visitação	1
		geossítio com estruturas de apoio a visitação mas sem proteção dos valores geopatrimoniais	2
		geossítio sem qualquer proteção	3
	Uso inadequado	sem degradação devida a uso público	0
		um elemento de degradação devida a uso público	1
		dois elementos de degradação devida a uso público	2
mais de dois elementos de degradação devida a uso público		3	
Controlo de acesso	o acesso ao geossítio é controlado por mais de dois meios	0	
	o acesso ao geossítio é controlado por dois meios	1	
	o acesso ao geossítio é controlado por um meio	2	
	sem qualquer controlo de acesso	3	

**Referências**

- Brilha, J., 2016. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: A review. *Geoheritage*, **8**: 119-134.
- Canesin, T., Pereira, P., Vegas, J., Selmi, L., Coratza, P., Santos, V., 2021. Addressing indicators for geoheritage monitoring based on degradation risk and scientific value quantitative assessment. EGU Virtual General Assembly 2021, Viena, Austria, EGU21-15024.
- Fuertes-Gutiérrez, I., Fernández-Martínez, E., 2010. Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): A tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage*, **2**: 57-75.
- Fassoulas, C., Mouriki, D., Dimitriou-Nikolakis, P., Iliopoulos, G., 2012. Quantitative assessment of geotopes as an effective tool for geoheritage management. *Geoheritage*, **4**: 177-193.
- García-Ortiz, E., Fuertes-Gutiérrez, I., Fernández-Martínez, E., 2014. Concepts and terminology for the risk of degradation of geological heritage sites: Fragility and natural vulnerability, a case study. *Proceedings of the Geologists' Association*, **125**: 463-479.
- Rabelo, T.O., Diniz, M.T.M., de Araújo, I.G.D., de Oliveira Terto, M.L., Queiroz, L.S., Araújo, P.V.d.N., Pereira, P., 2023. Risk of Degradation and Coastal Flooding Hazard on Geoheritage in Protected Areas of the Semi-arid Coast of Brazil. *Water*, **15**: 2564.
- Santucci, V.L., Kenworthy, J.P., Mims, A., 2009. Monitoring in situ paleontological resources. In: Young, R., Norby, L. (Eds.), *Geological Monitoring*. Geological Society of America. Boulder, 189-204.
- Selmi, L., 2021. Indagini ambientali volte all'individuazione di siti e forme del paesaggio potenzialmente identificabili come Geoparchi Mondiali UNESCO. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia.
- Selmi, L., Canesin, T.S., Gauci, R., Pereira, P., Coratza, P. 2022. Degradation Risk Assessment: Understanding the Impacts of Climate Change on Geoheritage. *Sustainability*, **14**: 4262.