

ABORDAGENS SOBRE O CONCEITO DE GEODIVERSIDADE E SUA CORRELAÇÃO COM O CLIMA

Lilian Carla Moreira Bento¹

INTRODUÇÃO

Não existe uma definição formalmente acordada de Geodiversidade em âmbito internacional, porém, Boothroyd e McHenry (2019) constataram que cerca de 88% das publicações sobre a temática, entre 1993-2014, usaram a definição de Gray (2013, p. 12): *“the natural range (diversity) of geological (rocks, minerals, fossils), geomorphological (landforms, topography, physical processes) and soil and hydrological features. It includes their assemblages, structures, systems and contributions to landscapes²”*, sendo, portanto, a mais amplamente empregada.

Desde o seu surgimento, percebe-se um incremento nos primeiros conceitos até os mais atuais, havendo uma variação nas interpretações de geodiversidade, seus elementos e valores (Maliniemi *et al.*, 2024). Boothroyd e McHenry (2019) argumentam que, devido às inúmeras possibilidades de como ela pode ser interpretada, surgem desafios na operacionalização do conceito e, principalmente, obtenção de inventários globais dos seus recursos. *“Because there is no single accepted definition of geodiversity, different authors have carried out their geodiversity analyses by addressing different abiotic resources, further complicating efforts to compare results between studies³”* (Ibáñez; Brevik, 2019).

Percebe-se que, apesar dos progressos realizados na promoção da geodiversidade e do seu estabelecimento como um componente das Ciências da Terra (Crofts, 2014), há ainda algumas lacunas a serem preenchidas. O objetivo deste trabalho é promover uma breve discussão conceitual sobre geodiversidade, trazendo o que há de mais novo na literatura sobre os seus componentes (elementos ou variáveis), principalmente, se o clima

¹ Docente do Programa de Graduação e Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, campus do Pontal (ICHPO-UFU), liliancmb@ufu.br

² “A gama natural (diversidade) de características geológicas (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicas (formas de relevo, topografia, processos físicos) e solo e hidrológicas. Inclui seus conjuntos, estruturas, sistemas e contribuições para as paisagens” (tradução nossa).

³ “Dado que não existe uma definição única e aceita de geodiversidade, diferentes autores efetuaram as suas análises abordando diferentes recursos abióticos, o que complica ainda mais os esforços para comparar os resultados entre estudos” (tradução nossa).

deve (ou não) ser considerado um desses. Espera-se contribuir para que o conceito de Geodiversidade apresente menos divergências quanto a sua abrangência e tenha um alcance maior, não apenas do ponto de vista teórico, mas, principalmente prático, uma vez que dados padronizados tendem a permitir uma gestão mais eficaz dos recursos naturais.

METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho, com abordagem qualitativa, envolveu, de modo geral, o levantamento e análise de bibliografia, de modo a promover a discussão conceitual sobre geodiversidade. O levantamento ocorreu em sites como *ResearchGate*, *SciELO*, Portal da Capes, *Redalyc* e *Google* acadêmico.

REFERENCIAL TEÓRICO

Conceição; Rocha e Sousa (2023), em um estudo bibliométrico na base de dados *Web of Science*, entre os anos 1998 e 2022, verificaram um aumento considerável de trabalhos relacionados a temática da Geodiversidade. Ruchkys, Mansur e Bento (2017) diagnosticaram uma crescente produção acadêmica brasileira em nível de mestrado e doutorado nos temas geodiversidade, patrimônio geológico, geoconservação e Geoturismo. Von Ahn e Simon (2017) analisaram a produção geográfica brasileira voltada a temática com base nos trabalhos publicados no Simpósio Brasileiro de Geografia Física Brasileira e o Simpósio Nacional de Geomorfologia, entre os anos de 2007 e 2016, e também verificaram uma significativa evolução nos estudos.

O conceito de Geodiversidade tem ganhado destaque, Rodrigues e Bento (2018) fizeram um apanhado da evolução desse conceito e concluíram que as primeiras definições eram mais restritivas e se pautavam na ideia de que o prefixo *geo* estava relacionado apenas com os aspectos geológicos; posteriormente, foram incluídos outros elementos abióticos, como geomorfológicos, pedológicos e, mais recentemente, hidrológicos. A princípio, apenas os processos naturais eram considerados e, hoje, alguns autores inserem a ação humana, tendo em vista ser também o homem um agente geológico com grande potencial modificador (Nieto, 2001; Kozłowski, 2004; Serrano; Ruiz-Flano, 2007).

Schrodt *et al.* (2024) consideram que, embora o conceito de Gray sobre geodiversidade seja largamente usado e que ele inclua muito mais do que apenas a diversidade de todos os elementos/processos geológicos (Gray, 2021), ainda há algumas discordâncias sobre quais elementos abióticos devem ser considerados como componentes da geodiversidade. Indo ao encontro dessa constatação, foi identificado que, muitos estudos que envolvem essa temática, especialmente aqueles voltados à quantificação, omitem alguns elementos, tais como as características dos solos e as hidrográficas (Claudino-Sales, 2023; Ibáñez; Brevik, 2022; Hjort *et al.*, 2024).

Acredita-se que a maior dificuldade é estabelecer uma compreensão holística de como a Terra, que é um planeta dinâmico, funciona; uma vez que a geodiversidade, equivalente a toda a variedade abiótica, é justamente um reflexo dos processos e dos elementos formados ao longo do tempo geológico. Os processos que dão origem à geodiversidade resultam das interações entre os vários subsistemas terrestres (atmosfera, biosfera, hidrosfera e litosfera) mediante ciclos internos e externos. Via de regra, o ciclo interno é regido pela tectônica de placas, e o externo é comandado, potencialmente, pela força da gravidade e diferentes climas.

No artigo “As interações entre o clima e a geodiversidade: uma abordagem teórica emergente”, Bento e Pereira (2016) consideram que a geodiversidade, principalmente os elementos geológicos, pedológicos e geomorfológicos, têm a sua evolução marcada pelo clima.

O determinante fundamental do clima é a entrada de radiação solar que impulsiona os mecanismos da atmosfera. Todos os elementos do clima – temperatura e padrões de pressão, o vento e a precipitação atmosférica – são efeitos secundários da diferença de aquecimento da atmosfera e da superfície da Terra (Drew, 1994, p. 74).

O clima é o agente principal no processo de esculturação das formas de relevo, as mesmas resultando “[...] do equilíbrio entre o ataque da rocha por certo número de processos morfoclimáticos e da resistência da rocha aos mesmos processos” (Penteado, 1978, p. 111). No caso da geologia, as condições climáticas têm um papel fundamental na diversidade dos tipos litológicos, contribuindo com a formação das rochas sedimentares, sem o qual haveriam apenas dos tipos magmática ou metamórfica. A autora supracitada (1978, p. 113) ressalta que “a ação do clima sobre as rochas se faz de dois modos: direta e indiretamente. A ação direta se faz através da intensidade de elementos do clima, principalmente: temperatura, umidade, precipitação e ventos. A ação indireta

[...] através da vegetação e dos solos”. Sobre os aspectos pedológicos, a influência do clima é semelhante à formação das rochas, envolvendo os processos de intemperismo. São esses os processos responsáveis pela transformação de rochas em solos, através de sua desintegração e modificações químicas dos seus minerais. O clima é considerado, portanto, tanto um fator ativo (age diretamente sobre o material de origem) quanto diferencial, pois um mesmo tipo de rocha pode formar solos distintos quando em condições climáticas diversas. Além disso, pode agir de forma direta, pela ação da temperatura e umidade, por exemplo, ou indireto, pela influência dos seres vivos, os quais dependem dos diferentes tipos climáticos (Bento; Pereira, 2016).

Penteado (1978) acrescenta que, ao longo da história da Terra houveram oscilações do clima, com alternância de fases quentes (Devoniano, Jurássico e Eoceno) com períodos muito frios (Cambriano, Carbonífero e Quaternário). Essas oscilações afetaram a dinâmica do ciclo hidrológico, geraram abaixamento ou aumento do nível do mar, interferindo nos processos de erosão, transporte e sedimentação dominantes. Em épocas de aridez prevalece a erosão mecânica e a formação de superfícies mais planas, em contrapartida, em épocas úmidas, o intemperismo químico é mais forte e ocorre a verticalização da paisagem, com dissecação do relevo. Vale lembrar que as propriedades geomorfológicas das rochas, ou seja, a erosão (seja física ou química) depende da natureza das rochas (suas propriedades físicas e químicas), desse modo, as paisagens são também frutos de uma erosão diferencial. Para contextualizar, as serras que encontramos hoje em Minas Gerais podem ser consideradas relevos residuais, pois são resquícios do processo intempérico aplicado aos cinturões orogênicos resultantes da colisão para formação do supercontinente Gondwana, ainda no Cambriano. A Serra da Canastra se destaca topograficamente por conta dos seus quartzitos, mais resistentes do que as rochas encontradas no seu entorno. Processo similar ocorre na Serra do Ibitipoca, onde os quartzitos também sustentam as partes mais elevadas do relevo (Bento, 2022).

Não só o clima interfere na dinâmica externa da Terra, impactando na geodiversidade, como os seus elementos e/ou processos também podem interferir no sistema atmosférico:

[...] a configuração dos continentes afeta o aquecimento solar e o resfriamento, e, portanto, os sistemas eólico e atmosférico, dependentes do aquecimento solar e resfriamento subsequente, são afetados pela disposição geográfica dos continentes. Por outro lado, a rápida expansão das placas e as atividades localizadas nas áreas de tensão podem liberar, vulcanicamente, o dióxido de carbono vulcânico e afetar o clima global (Wicander; Monroe, 2016, p. 24).

O clima, seja na escala geológica ou histórica, equivale, portanto, à energia que mantém o dinamismo dos processos terrestres externos. Sua ação ao longo da história de formação do planeta Terra foi (e continua sendo) fundamental para interferir na ocorrência de processos que resultarão em elementos da geodiversidade. Não deve, nesse sentido, ser confundido como um elemento ou processo da geodiversidade, mas é a energia que faz com que as interações ocorram (contexto externo). Inclusive, Gray (2021) traz no artigo “*Geodiversity: a significant, multi-faceted and evolving, geoscientific paradigm rather than a redundant term*”, que das variações propostas ao seu conceito de geodiversidade, as menos convincentes são as sugestões de que a geodiversidade deve incluir a atmosfera.

Estudos mais recentes (Hjort *et al.*, 2024; Schrodt *et al.*, 2024), em consonância às pesquisas no âmbito ambiental para permitir a quantificação e monitoramento das alterações globais no clima, oceanos e biodiversidade, propõem, respectivamente, uma taxonomia da geodiversidade, bem como a indicação de variáveis essenciais da geodiversidade, nas quais não se inclui o clima. Os principais componentes da geodiversidade ou as Variáveis Essenciais da Geodiversidade (EGVs) são, a saber: *i*- geologia, *ii*- geomorfologia, *iii*- hidrologia e *iv*- pedologia, ou seja, “[...] *EGV data must be relevant, feasible and cost-effective to collect, so that sampling and data collection can be replicated consistently elsewhere*”⁴ (Schrodt *et al.*, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi exposto, pode-se chegar a conclusão de que a Geodiversidade é, atualmente, um tema mundialmente debatido; a criação do programa Geoparques Mundiais e a institucionalização de um dia internacional para se comemorá-la, ambos da Unesco, são exemplos dessa internacionalização. No entanto, existem, ainda, obstáculos metodológicos devido à sua natureza multifacetada e às múltiplas maneiras pelas quais pode ser estudada; um deles diz respeito justamente a definição de quais elementos abióticos fazem, de fato, parte do conceito.

Considera-se que o conceito de Gray (2013) é bastante completo e inclui os elementos/componentes propostos na literatura mais recente, como das EGVs, a saber: *i*- geologia, *ii*- geomorfologia, *iii*- pedologia e *iv*- hidrologia, distinguindo o que é um

⁴ Os dados EGV devem ser pertinentes, viáveis e rentáveis, de modo a que a amostragem e o levantamento de dados possam ser reproduzidos de forma coerente noutros locais (Tradução nossa).

elemento abiótico e os processos geradores. O clima é de suma importância na esculturação das paisagens, interferindo, direta ou indiretamente, ao longo do tempo geológico, em diferentes processos que dão origem aos elementos abióticos da geodiversidade, mas não deve ser considerado como um elemento da geodiversidade.

Dito isto, o desafio futuro é que exista para a Geodiversidade, assim como já ocorre com a Biodiversidade, uma base de dados aberta e padronizada de modo a orientar na tomada de decisões e desenvolvimento de políticas ambientais e, principalmente, permita o seu monitoramento. No estudo “*Towards a taxonomy of geodiversity*”, os autores (Hjort *et al.*, 2024) apresentam um possível caminho por meio do estabelecimento de uma taxonomia que categoriza a geodiversidade a partir de seus elementos básicos, sendo aplicável em mapeamento e metodologias de quantificação.

Palavras-chave: Diversidade abiótica; Conceituação, Variáveis essenciais.

REFERÊNCIAS

BENTO, L. C. M. Potencial geoturístico de quedas d’água do estado de Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Geografia**, v. 36, n. 68, p. 22-47, 2022. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/27704>. Acesso em: 02 abr. 2024.

BENTO, L. C. M.; PEREIRA, D. dos S. As interações entre o clima e a geodiversidade: uma abordagem teórica emergente. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 12., 2016, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2016. p. 102-112. Disponível em: <https://abclima.ggf.br/documentos/anais/12sbcg.rar>. Acesso em: 02 abr. 2024.

BOOTHROYD, A; MCHENRY, M. Old processes, new movements: the inclusion of geodiversity in biological and ecological discourse. **Diversity**, v. 11, p. 216-238, 2019. Disponível em: https://figshare.utas.edu.au/articles/journal_contribution/Old_processes_new_movements_the_inclusion_of_geodiversity_in_biological_and_ecological_discourse/22983422. Acesso em: 02 abr. 2024.

CONCEIÇÃO, J. M. da; ROCHA, G. C.; SOUSA, P. dos S. Levantamento bibliométrico da produção científica sobre geodiversidade e temas correlatos no período de 1998 a 2022. **Equador**, v. 12, n. 1, p. 156-172, 2023. Disponível em: <https://ojs.ufpi.br/index.php/equador/article/view/14024>. Acesso em: 02 abr. 2024.

CLAUDINO-SALES, V. de. Geodiversidade e geopatrimônio em uma leitura geográfica. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 15., 2023, Palmas. **Anais eletrônicos...** Palmas: Universidade Federal

do Tocantins, 2023. Disponível em:

<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/93812>. Acesso em: 02 abr. 2024.

CROFTS, R. Promoting geodiversity: learning lessons from biodiversity. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 125, n. 3, p. 263-266, jul. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787814000261>. Acesso em: 02 abr. 2024.

DREW, D. **Processos interativos homem – meio ambiente**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

GRAY, M. Geodiversity: a significant, multi-faceted and evolving, geoscientific paradigm rather than a redundant term. **Proceedings of the Geologists Association**, v. 132, p. 605-619, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787821000821>. Acesso em: 02 abr. 2024.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. 2 ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2013.

HJORT, J. *et al.* Towards a taxonomy of geodiversity. **Phil. Trans. R. Soc. A.**, v. 382, n. 2269, 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10859227/>. Acesso em: 02 abr. 2024.

IBÁÑEZ, J.-J.; BREVIK, E. C. Divergence in natural diversity studies: The need to standardize methods and goals. **Catena**, v. 182, nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816219302528?via%3Dihub>. Acesso em: 02 abr. 2024.

IBÁÑEZ, J.-J.; BREVIK, E. C. Geodiversity research at the crossroads: two sides of the same coin. **Span. J. Soil Sci.**, v. 12, mar. 2022. Disponível em: <https://www.frontierspartnerships.org/articles/10.3389/sjss.2022.10456/full>. Acesso em: 02 abr. 2024.

KOZŁOWSKI, S. The concept and scope of geodiversity. **Przegląd Geologiczny**, v. 52, n. 8/2, p. 833-837, 2004. Disponível em: https://www.pgi.gov.pl/images/stories/przegląd/pdf/pg_2004_08_2_22a.pdf. Acesso em: 02 abr. 2024.

MALINIEMI, T. *et al.* Too much diversity – multiple definitions of geodiversity hinder its potential in biodiversity research. **Diversity and Distributions**, v. 30, mar. 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ddi.13843>. Acesso em: 02 abr. 2024.

NIETO, L. M. Geodiversidad: propuesta de uma definición integradora. **Boletín geológico y minero**, v. 112, n. 2, p. 3-12, 2001. Disponível em: http://www.igmes.es/internet/Boletín/2001/112_2-2001/1ARTICULO%20%20GEODIVERSIDAD.pdf. Acesso em: 02 abr. 2024.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

RODRIGUES, S. C.; BENTO, L. C. M. Cartografia da Geodiversidade: teorias e métodos. *In*: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. Do C. O. (org.). **GEO turismo, diversidade, conservação** – abordagens geográficas e geológicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. p. 137-162.

RUCHKYS, U. A.; MANSUR, K.; BENTO, L. M. A Historical and Statistical Analysis of the Brazilian Academic Production, on Master's and PhD Level, on the Following Subjects: Geodiversity, Geological Heritage, Geotourism, Geoconservation and Geoparks. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 1, p. 180-190, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/18242>. Acesso em: 02 abr. 2024.

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity: a theoretical and applied concept. **Geographica Helvetica**, v. 62, n. 3, p. 140-147, 2007. Disponível em: <https://gh.copernicus.org/articles/62/140/2007/gh-62-140-2007.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2024.

SCHRODT, F. *et al.* The status and future of essential geodiversity variables. **Phil. Trans. R. Soc. A.**, v. 382, n. 2269, 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10859226/>. Acesso em: 02 abr. 2024.

VON AHN, M. M.; SIMON, A. L. H. Geografia física e geodiversidade: análise da produção científica brasileira entre os anos de 2007 e 2016. *In*: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: UNICAMP, 2017. p. 3090-3101. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1957>. Acesso em: 02 abr. 2024.

WINCANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.