

Lilian Carla Moreira Bento

Professora Adjunta do Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Uberlândia, campus do Pontal (Ituiutaba/MG), atuando como docente na graduação e nos Programas de Pós-Graduação em Geografia do Pontal (PPGEP-Pontal) e em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER/UFCA)

liliancmb@ufu.br

Giulia Alves Viana

Graduada em Direito pela Faculdade de Direito de São Bernardo do Campo (2023) e mestranda em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

giulia.viana@direitosbc.br

Memórias da Terra: os fósseis e sua contribuição para os serviços da geodiversidade

Resumo

A geodiversidade constitui a base física da biosfera e fornece serviços ambientais essenciais para a manutenção do equilíbrio ambiental e do bem-estar humano. Entre seus elementos, os fósseis se destacam como importantes provedores de serviços ao contribuírem para a compreensão da história da Terra, para o monitoramento de mudanças ambientais e para ações de educação e conservação. Este artigo discute os valores da geodiversidade, com foco nos fósseis, integrando uma revisão crítica da literatura (estado da arte) e reflexões derivadas de uma mesa-redonda interdisciplinar promovida pelas autoras. Os resultados evidenciam a relevância de reconhecer a geodiversidade e, em especial, o registro fóssilífero, não apenas como suporte passivo, mas como componente ativo na manutenção de serviços ambientais, no fortalecimento da educação geocientífica e na promoção da geoconservação. As reflexões teóricas reforçam a necessidade de integrar a geodiversidade aos debates ambientais e políticas contemporâneos, sobretudo no contexto das mudanças climáticas, da gestão territorial e da sustentabilidade.

Palavras-chave: Patrimônio paleontológico, Geopatrimônio, Serviços da natureza.

Abstract

MEMORIES OF THE EARTH: FOSSILS AND THEIR CONTRIBUTION TO GEODIVERSITY SERVICES

Geodiversity constitutes the physical foundation of the biosphere and provides essential environmental services for maintaining ecological balance and human well-being. Among its elements, fossils stand out as important providers of environmental services by contributing to the understanding of Earth's history, supporting the monitoring of environmental changes, and strengthening education and conservation initiatives. This article discusses the values of geodiversity, with an emphasis on fossils, integrating a critical literature review (state of the art) with reflections derived from an interdisciplinary roundtable organized by the authors. The results highlight the relevance of recognizing geodiversity – and especially the fossil record – not merely as a passive support but as an active component in sustaining environmental services, enhancing geoscience education, and promoting geoconservation. The theoretical reflections reinforce the need to incorporate geodiversity into contemporary environmental and political debates, particularly in the context of climate change, territorial management, and sustainability.

Key-words: Paleontological heritage, Geoheritage, Nature services.

1. Introdução

A geodiversidade corresponde à diversidade de elementos abióticos da superfície terrestre, incluindo rochas, solos, formas de relevo, fósseis e processos associados. Trata-se de um componente estruturante dos sistemas naturais, ainda pouco considerado nos debates ambientais, tradicionalmente centrados na biodiversidade. E, no contexto das crises socioambientais contemporâneas, torna-se necessário ampliar seu reconhecimento como componente portador de valores científicos, culturais e ambientais, com implicações diretas para a conservação e o planejamento territorial.

Entre os elementos da geodiversidade, destacam-se os fósseis, compreendidos aqui como componentes que articulam dimensões naturais e sociais do espaço geográfico. Resultam de processos geológicos e paleoambientais específicos, associados a contextos territoriais bem definidos no Brasil, como as bacias sedimentares do Araripe e do Bauru, reconhecidas internacionalmente por meio de geoparques mundiais da Organização

das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Ao mesmo tempo, os fósseis podem contribuir com a produção do espaço, ao influenciarem práticas sociais, dinâmicas econômicas, políticas de conservação e processos de construção de identidades territoriais. Nesse sentido, estão relacionados ao desenvolvimento do geoturismo, à musealização do patrimônio natural, à educação geocientífica e à criação de estratégias de proteção do geopatrimônio, inserindo-se, portanto, na articulação entre as interações socioambientais.

Essa inserção dos fósseis na relação sociedade e natureza dialoga diretamente com os debates contemporâneos sobre os serviços associados à natureza, que são abordados sob diferentes perspectivas conceituais, sendo mais comum o uso do termo serviços ecossistêmicos na literatura científica internacional e de serviços ambientais em contextos de políticas públicas, especialmente na América Latina (COSTANZA et al., 1997; DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002; GOMES; DANTAS NETO; SILVA, 2018). Adota-se neste estudo uma distinção analítica entre serviços ecossistêmicos (associados aos componentes bióticos), serviços geossistêmicos (relacionados aos elementos abióticos da geodiversidade) e serviços da natureza como categoria integradora.

A partir desse enquadramento conceitual, observa-se que os debates sobre os serviços da natureza ainda são marcados por assimetrias teóricas, com predominância de abordagens centradas na dimensão biótica, o que limita uma compreensão mais integrada das contribuições da geodiversidade. Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo apresentar os valores da geodiversidade, com ênfase nos fósseis. Nesse contexto, sua principal contribuição para a Geografia consiste em sistematizar a discussão sobre os serviços da geodiversidade, evidenciando os fósseis como componentes relevantes na produção do espaço geográfico, a partir de uma perspectiva teórica e interdisciplinar.

Do ponto de vista teórico-metodológico, trata-se de um estudo qualitativo teórico, estruturado como revisão integrativa da literatura e ensaio de integração conceitual. A revisão foi conduzida com o objetivo de reunir, sistematizar e analisar criticamente produções nacionais e internacionais relacionadas a geodiversidade, serviços ecossistêmicos e geossistêmicos, geopatrimônio e paleontologia.

O levantamento bibliográfico foi realizado em bases de dados acadêmicas como *Scopus*, *Web of Science*, *SciELO* e *Google Scholar*, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras. Foram utilizados descritores em português e inglês, tais como “*geodiversity*”, “*geosystem services*”, “*ecosystem services*”, “*fossils*”, “*paleontological heritage*”, “*geoconservation*” e “*geoheritage*”, empregados isoladamente e em combinações booleanas.

Como critérios de seleção, foram incluídas produções que: (i) apresentassem relação direta com os temas centrais do estudo; (ii) possuísem relevância teórico-conceitual reconhecida no campo das geociências e da geografia física; (iii) fossem amplamente citadas ou consideradas referências clássicas ou contemporâneas consolidadas; e (iv) apresentassem contribuição analítica para o debate sobre geodiversidade e serviços da natureza. Foram excluídos estudos de caráter estritamente técnico-descritivo, trabalhos duplicados e publicações sem acesso completo. O corpus analisado compreende um conjunto representativo de trabalhos clássicos e contemporâneos, selecionados com base em sua relevância e recorrência na literatura especializada.

A análise do material foi fundamentada em leitura interpretativa e análise de conteúdo temática, a partir de categorias analíticas previamente definidas (geodiversidade, serviços ecossistêmicos, serviços geossistêmicos, geopatrimônio e fósseis), permitindo identificar convergências, tensões conceituais e lacunas analíticas.

Além da revisão bibliográfica, o estudo incorpora contribuições de uma mesa-redonda interdisciplinar intitulada “Geodiversidade: a natureza que sustenta a vida”, realizada em 27 de junho de 2025 no Instituto de Ciências Humanas do Pontal (ICHPO/UFU). A mesa-redonda foi tratada como uma instância de reflexão coletiva e fonte complementar de análise, cujas discussões foram registradas, sistematizadas e analisadas à luz das categorias teóricas adotadas, contribuindo para o refinamento interpretativo e para a problematização dos conceitos mobilizados no estudo.

Por fim, esse artigo propõe uma leitura dos fósseis como objetos geográficos integradores, cuja análise permite articular diferentes dimensões do espaço geográfico em múltiplas escalas. Na dimensão físico-espacial, são registros materiais da história da Terra e da evolução das paisagens, permitindo a reconstrução de paleoambientes e a interpretação

de processos geológicos pretéritos. Na dimensão político-territorial, eles podem ser incorporados em políticas de proteção do patrimônio natural e estratégias de desenvolvimento territorial, como os geoparques. Já na dimensão simbólico-cultural, os fósseis assumem papel central na construção de significados espaciais, experiências e identidades territoriais. Em regiões fossilíferas, esses elementos passam a compor narrativas de identidade local e reconhecimento territorial, influenciando tanto a forma como os lugares são representados quanto como são vividos por diferentes grupos sociais.

2. Definições e abordagens da geodiversidade

O conceito de geodiversidade surgiu no final do século XX, ganhando força nas discussões ambientais a partir dos anos 1990, como uma tentativa de reconhecer a importância dos elementos abióticos frente ao foco tradicional em biodiversidade. Inicialmente, as definições eram mais restritas aos aspectos estritamente geológicos. Com o tempo, passaram a incorporar também elementos geomorfológicos, pedológicos e hídricos, além de incluir os processos que formam e transformam esses elementos (RODRIGUES; BENTO, 2018).

De modo genérico, a geodiversidade pode ser entendida como a variedade natural de elementos abióticos presentes na Terra, incluindo rochas e minerais (diversidade geológica), formas de relevo e processos geomorfológicos (diversidade geomorfológica), solos e suas variações (diversidade pedológica) e recursos hídricos, como rios, aquíferos e lagos (diversidade hidrológica), bem como os processos que os formam e transformam ao longo do tempo geológico (GRAY, 2013).

Embora não exista uma definição única e consensual de geodiversidade, a formulação mais amplamente adotada em âmbito internacional é a proposta por Gray (2013), que enfatiza sua natureza integrada e dinâmica. Essa concepção tem sido recentemente operacionalizada por meio das Variáveis Essenciais da Geodiversidade (*Essential Geodiversity Variables* – EGVs), que incluem: (i) geologia, (ii) geomorfologia, (iii) pedologia e (iv) hidrologia. Essas variáveis constituem um conjunto de indicadores

destinados a quantificar e monitorar a heterogeneidade abiótica da superfície e da subsuperfície terrestres, sendo fundamentais para subsidiar políticas de gestão de recursos naturais e avaliações do bem-estar humano e ambiental, em complementaridade a outras variáveis globais, como as Variáveis Essenciais do Clima (ECVs), do Oceano (EOVs) e da Biodiversidade (EBVs) (SCHRODT et al., 2019; 2024).

Nesse contexto, a geodiversidade consolida-se como um componente estruturante dos sistemas naturais, cuja compreensão integrada é essencial para análises ambientais contemporâneas. Importa destacar, contudo, que, embora o clima exerça influência decisiva sobre a formação das paisagens e sobre diversos processos relacionados à dinâmica dos elementos abióticos, ele não deve ser considerado um componente da geodiversidade (BENTO, 2024).

Apesar de seu avanço conceitual e crescente reconhecimento acadêmico, a geodiversidade ainda é pouco valorizada nas políticas ambientais e programas oficiais de conservação da natureza (ALAHUHTA et al., 2018; BRILHA et al., 2018; FOX et al., 2020; GORDON; BARRON, 2012; GRAY; GORDON; BROWN, 2013; HJORT et al., 2015). Pesquisas sobre planos de manejo de unidades de conservação no Brasil demonstram que o enfoque da geodiversidade é frequentemente ausente, superficial ou fragmentado. Em muitos casos, os componentes físicos da paisagem são mencionados apenas como cenário geográfico de fundo, sem atribuição de valor próprio ou papel ecológico (SOARES et al., 2023).

Com a emergência de conceitos como os serviços da geodiversidade (GRAY, 2013) e a proposta das EGVs, surge a possibilidade de construir indicadores técnicos e critérios normativos para avaliar, monitorar e proteger os elementos abióticos da natureza com o mesmo rigor já aplicado à biodiversidade. Incorporar a geodiversidade nos planos de manejo, nos relatórios de impacto ambiental e nos zoneamentos territoriais é condição essencial para enfrentar os desafios contemporâneos de forma integrada e interdisciplinar (GORDON; BARRON, 2012).

Assim, reconhecer a geodiversidade como elemento central dos ecossistemas e como patrimônio natural, com valores científicos, educativos, estéticos, culturais e simbólicos, é passo fundamental para uma conservação ambiental mais ampla, justa e eficaz. Como destacam Gray

(2013) e Brilha et al. (2018), sem a consideração dos elementos físicos da natureza, as estratégias de gestão permanecem incompletas e pouco eficazes, dado que a biodiversidade só existe em função de uma base geológica e geomorfológica que a sustenta. Assim, a integração da geodiversidade nas políticas ambientais não é apenas desejável, mas necessária para que o discurso da sustentabilidade se materialize em práticas concretas e realmente abrangentes.

3. Dos serviços da biodiversidade à geodiversidade: uma ampliação necessária

A valorização da geodiversidade, inicialmente centrada em atributos estéticos, científicos e educacionais (BRILHA, 2005; GRAY, 2005), tem evoluído, nas últimas décadas, para uma interpretação mais funcional, que reconhece os elementos abióticos da natureza como provedores de múltiplos serviços naturais. Essa transição conceitual reflete o amadurecimento das discussões socioambientais, que passaram a considerar a natureza não apenas como cenário ou recurso, mas como um sistema complexo que sustenta, direta e indiretamente, o bem-estar humano.

O conceito de serviços ecossistêmicos surgiu no final do século XX como parte dos esforços da comunidade científica para evidenciar as múltiplas formas pelas quais a natureza contribui para a sociedade, sendo impulsionado pela crescente preocupação com a degradação ambiental e pela necessidade de incorporação dos valores da natureza às decisões políticas, econômicas e de planejamento (DAILY, 1997; COSTANZA et al., 1997). Nesse contexto, os serviços ecossistêmicos são definidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, organizados em serviços de provisão, regulação, suporte e culturais (DAILY, 1997; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

A consolidação desse domínio teórico-conceitual ocorreu especialmente a partir da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (2005), que ampliou sua difusão em políticas ambientais e instrumentos de gestão. Ainda assim, o conceito permanece em evolução, sendo possível identificar na literatura múltiplas definições e interpretações, sem padronização conceitual

consolidada (DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002; FISHER; TURNER, MORLING, 2009). Embora exista consenso quanto à ideia de benefícios derivados dos ecossistemas, persistem diferenças relevantes de abordagem, variando entre perspectivas ecológicas, econômicas e institucionais.

Nesse cenário, vários autores enfatizam aspectos distintos do conceito. Costanza et al. (1997), De Groot; Wilson; Boumans (2002) e Daily e Farley (2004) destacam os serviços como bens e serviços derivados de funções ecossistêmicas voltados ao benefício humano. Daily (1997) enfatiza condições e processos dos ecossistemas naturais. Já o Millennium Ecosystem Assessment (2005) adota uma formulação mais sintética, definindo-os como benefícios gerais providos pelos ecossistemas. Em contraponto, Boyd e Banzhaf (2007) e Fisher; Turner; Morling (2009) defendem que os serviços não devem ser entendidos apenas como benefícios abstratos, mas como componentes da natureza diretamente apropriados, consumidos ou utilizados pelo bem-estar humano.

A compreensão da dinâmica dos serviços exige ainda a distinção entre funções, serviços, benefícios e valores, fundamentais para a análise das relações entre natureza e sociedade. As funções correspondem às capacidades dos sistemas naturais; os serviços são suas contribuições ao bem-estar humano; os benefícios referem-se ao uso efetivo desses serviços; e os valores dizem respeito à sua importância social e cultural (DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002; FISHER; TURNER; MORLING, 2009; WALLACE, 2007).

Apesar dos avanços conceituais, persiste uma lacuna importante na literatura quanto à sub-representação dos componentes abióticos nos estudos de serviços ecossistêmicos (BRILHA et al., 2018; FOX et al., 2020; GRAY, 2021), uma vez que a maioria dos estudos ainda privilegia sistemas bióticos, enquanto os elementos físicos da natureza permanecem secundarizados. No desenvolvimento mais recente dessas discussões, novos modelos conceituais passaram a incorporar explicitamente a geodiversidade, como o Modelo de Cascata dos Serviços Geo-Ecossistêmicos (FOX et al., 2020), ampliando o escopo analítico para além dos sistemas ecológicos vivos e evidenciando o reconhecimento crescente da importância dos componentes abióticos na geração de serviços associados à natureza. Nesse contexto, os serviços da geodiversidade correspondem às contribuições dos

elementos abióticos e dos processos geodinâmicos, fundamentais para a manutenção da vida (FOX et al., 2020).

Embora incipiente, observa-se um aumento progressivo dessas abordagens mais integradoras na literatura científica. Começam a despontar pesquisas que buscam evidenciar os serviços associados à geodiversidade, ampliando o foco tradicionalmente centrado nos serviços vinculados à biodiversidade. Surge, portanto, algum movimento de reconhecimento da dimensão abiótica da natureza como componente igualmente relevante na provisão de benefícios ambientais, culturais e sociais, embora ainda de maneira menos consolidada do ponto de vista conceitual e metodológico (BENTO, 2022).

Numa escala local e/ou regional, no Brasil, alguns estudos de caso têm aprofundado essa temática em diferentes contextos ambientais, como em manguezais (RABELO et al., 2018), em unidades de conservação como no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, no Rio de Janeiro (PESSOA et al., 2018), no Parque Nacional de Ubajara, Ceará (MEIRA et al., 2020) e no Parque Estadual da Serra do Mar, em Caraguatatuba-SP (BALAGUER; GARCIA; RIBEIRO, 2021). Além de outros desenvolvidos na Bacia de Taubaté-SP (REVERTE; GARCIA; BRILHA, 2019), no litoral paulista (GARCIA, 2019), e em geossítios do Geopark Araripe-CE (NASCIMENTO; SILVA; MOURA-FÉ, 2020). Em conjunto, esses estudos evidenciam a crescente consolidação da abordagem dos serviços aplicados à geodiversidade em diferentes escalas e contextos geográficos.

O predomínio de uma perspectiva antropocêntrica na valoração da natureza, frequentemente associada ao conceito de serviços ecossistêmicos, tem sido objeto de questionamentos na literatura, especialmente por sua ênfase predominante nos benefícios diretos ao ser humano. Essa perspectiva, historicamente influenciada por uma tradição filosófica que tende a colocar o ser humano como centro de referência na interpretação da natureza, reforça uma leitura instrumental dos elementos naturais. Em contraposição, ganha destaque a visão ecocêntrica, que reconhece o valor intrínseco da natureza e propõe uma ampliação do estatuto ético dos sistemas naturais. Nesse contexto, estudos recentes têm discutido a aplicabilidade dessa abordagem aos elementos abióticos da geodiversidade, defendendo sua incorporação como fundamento para uma leitura mais integrada e não hierarquizante das interações socioambientais (SILVA; MANSUR, 2020).

4. A Terra que conta histórias: fósseis, geodiversidade e produção do território

Os fósseis, registros materializados da vida pretérita, constituem testemunhos essenciais para a compreensão da história do planeta. Funcionando como arquivos geológicos e biológicos, permitem a reconstituição de paleoambientes, a análise de eventos evolutivos e extinções, bem como a compreensão de mudanças climáticas e geográficas em escalas de tempo profundas. Sob essa perspectiva, a Terra pode ser compreendida como um sistema narrativo, no qual os fósseis representam registros privilegiados da história da vida e da dinâmica da superfície terrestre (PINTO, 2020).

Essa capacidade de leitura da história da Terra insere os fósseis diretamente no escopo da geodiversidade, ampliando seu significado e permitindo sua valorização para além do campo estritamente paleontológico. Como parte do patrimônio natural dos territórios, os fósseis passam a integrar também o campo do patrimônio cultural, a partir de processos de atribuição de valor social que se expressam na identidade local, na memória coletiva, no uso histórico do território e em seu potencial educativo e simbólico. Nesse contexto, não devem ser considerados como elementos isolados, mas componentes estruturantes do substrato geológico, articulando a história da vida às transformações do meio físico ao longo do tempo geológico (GRAY, 2005).

No contexto brasileiro, essa dimensão patrimonial é reforçada pelo ordenamento jurídico, que reconhece os fósseis como bens da União e patrimônio cultural nacional. Tal condição implica a necessidade de proteção específica, especialmente diante de ameaças como expansão urbana, mineração, coleta indiscriminada e comércio ilegal. Assim, sua conservação exige um olhar integrado, que articule as dimensões científicas, jurídicas e sociais do território.

A análise dos fósseis, em conjunto com as rochas que os contêm, permite reconstruir ambientes pretéritos com elevado grau de precisão, funcionando como uma forma de investigação científica da história da Terra. A presença de determinados fósseis indica condições paleoambientais específicas, como ambientes marinhos, lacustres ou fluviais, permitindo inferências refinadas a partir de sua identificação taxonômica (BARRETO et al., 2012).

Além disso, fósseis vegetais e microfósseis permitem interpretações sobre paleoclimas e dinâmicas ecológicas, enquanto mudanças na composição fossilífera ao longo de sucessões estratigráficas podem indicar variações climáticas significativas. Extinções em massa, por sua vez, registram crises ambientais globais, evidenciando a sensibilidade dos sistemas vivos às transformações do planeta (GRAY, 2005).

Em escala tectônica e paleogeográfica, os fósseis desempenham papel central na formulação de teorias como a Deriva Continental e a Tectônica de Placas, ao evidenciarem a continuidade biogeográfica entre continentes atualmente separados. A ocorrência de fósseis semelhantes em diferentes massas continentais constitui uma das principais evidências da antiga conexão entre esses territórios.

No Brasil, destacam-se importantes bacias sedimentares que funcionam como arquivos da história geológica e biológica. A Bacia do Araripe, reconhecida como *Konservat-Lagerstätte*, preserva registros excepcionais do Cretáceo, incluindo ambientes lacustres, lagunares e marinhos, além de uma paleobiota diversa composta por peixes, pterossauros, dinossauros, crocodilomorfos, insetos e plantas. Essa região integra o Geopark Araripe, reconhecido pela UNESCO, embora enfrente pressões como mineração e coleta ilegal.

No Triângulo Mineiro, destacam-se os fósseis de Uberaba, associados a ambientes fluviais do Cretáceo Superior, que permitem reconstruções detalhadas de ecossistemas continentais do final da “Era dos Dinossauros”. Esses achados, frequentemente inseridos em áreas urbanas, evidenciam tanto o potencial científico quanto os desafios de geoconservação.

Outras unidades geológicas, como a Bacia do Paraná, preservam registros fundamentais para a compreensão da evolução paleobiogeográfica, incluindo fósseis utilizados como evidência da Deriva Continental, além de importantes associações paleoecológicas do Paleozoico e Mesozoico.

5. Geodiversidade, patrimônio e geoconservação

A geodiversidade, da qual os fósseis fazem parte, constitui o geopatrimônio de um território, servindo de base para múltiplos valores que justificam sua conservação (BRILHA, 2005). Reconhecidos como componentes

do substrato físico, os fósseis transcendem sua dimensão estritamente científica, passando a integrar também esferas sociais, culturais e territoriais, o que reforça seu papel como componentes atuantes na dinâmica socioespacial (GRAY, 2005).

A valoração desses elementos ocorre de forma interdependente em diferentes dimensões, incluindo aspectos científicos, educativos, culturais e turísticos. No campo científico, os fósseis são recursos finitos e não renováveis, fundamentais para a compreensão da evolução da vida, dos ecossistemas e da história da Terra, além de contribuírem para estudos aplicados em geociências (BRILHA, 2005; CARVALHO, 2010; KELLNER, 2002). No âmbito educativo e cultural, desempenham papel relevante na difusão do conhecimento e na construção de identidades territoriais, ampliando seu reconhecimento social (BRILHA, 2005; PINTO, 2020). Quando manejados de forma sustentável, esses valores também se desdobram em potencial turístico e socioeconômico, especialmente por meio do geoturismo (BARRETO et al., 2012; PINTO, 2020).

Nesse contexto, estratégias de geoconservação tornam-se essenciais para garantir a proteção desse patrimônio para as gerações futuras. Os Geoparques Mundiais da UNESCO representam um dos modelos mais consolidados de gestão integrada, articulando conservação, educação e desenvolvimento territorial sustentável com base na geodiversidade (HENRIQUES et al., 2012). No entanto, no Brasil, o arcabouço jurídico relacionado à proteção dos fósseis apresenta caráter fragmentado e, em muitos aspectos, insuficiente. Embora o Decreto-Lei nº 4.146/1942 estabeleça diretrizes iniciais, a legislação vigente ainda se distribui entre normas ambientais, minerárias e culturais, sem um marco legal específico e integrado para a proteção paleontológica.

A Constituição Federal de 1988 confere aos fósseis uma dupla natureza jurídica, ao reconhecê-los simultaneamente como bens da União (art. 20, IX) e como patrimônio cultural brasileiro (art. 216, V). Essa condição resulta na atuação compartilhada de diferentes instituições, como a Agência Nacional de Mineração (ANM), responsável por aspectos relacionados à exploração mineral, e o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), responsável pela proteção do patrimônio cultural. Complementarmente, a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998)

e a Lei nº 8.176/1991 estabelecem sanções relacionadas à destruição de sítios fossilíferos e à exploração ilegal. Apesar desse arcabouço, persistem lacunas importantes, especialmente no que se refere a descobertas fortuitas em obras de infraestrutura, ausência de protocolos padronizados e fragilidades na fiscalização, com destaque para regiões de elevada relevância paleontológica, como a Bacia do Araripe (PINTO, 2020; BARRETO et al., 2012; CARVALHO, 1993).

Casos emblemáticos ilustram essas fragilidades, como o de *Ubirajara jubatus*, espécime retirado ilegalmente do Brasil, estudado no exterior e posteriormente repatriado em 2023 após mobilização científica internacional (#UbirajaraBelongstoBR) e o de *Irritator challengeri*, cujo crânio foi adulterado por comerciantes, comprometendo a integridade científica do material (CISNEROS et al., 2022). A Chapada do Araripe constitui um exemplo emblemático da tensão entre riqueza paleontológica e vulnerabilidade socioeconômica. Apesar de sua relevância científica internacional, a região apresenta baixos indicadores sociais, o que contribui para a exploração ilegal de fósseis como alternativa de renda. Em resposta a esse cenário, iniciativas como o Museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens (URCA) têm desenvolvido estratégias integradas de educação patrimonial, produção de réplicas e envolvimento comunitário, promovendo a transformação do patrimônio fossilífero em recurso educativo e socioeconômico legalizado (BARROS, 2025).

Diante desse cenário, a conservação dos fósseis exige a superação de desafios estruturais que envolvem a modernização do arcabouço legal, o fortalecimento da educação patrimonial e a ampliação de estratégias de gestão participativa. O Decreto-Lei nº 4.146/1942 mostra-se insuficiente diante de fenômenos contemporâneos como o tráfico internacional de fósseis, a intensificação de grandes obras de infraestrutura e a crescente pressão sobre sítios fossilíferos (CISNEROS et al., 2022).

Torna-se urgente a construção de um marco legal mais atualizado e integrado, que articule ciência, direito e gestão territorial, com protocolos claros para descobertas, coleta e proteção de fósseis. Paralelamente, a educação patrimonial emerge como estratégia fundamental de prevenção, ao promover a valorização social do patrimônio geológico por meio da formação de professores, divulgação científica e fortalecimento do sentimento

de pertencimento das comunidades locais (CISNEROS et al., 2022). Modelos integrados de governança, como os Geoparques Mundiais da UNESCO, demonstram que é possível conciliar conservação, desenvolvimento socioeconômico e planejamento territorial, articulando ciência, sociedade e economia em uma mesma estratégia de gestão do território. Assim, os fósseis, enquanto narradores da história da Terra, demandam uma proteção que integre simultaneamente dimensões científicas, jurídicas e sociais, garantindo sua preservação e sua transmissão às futuras gerações.

6. Considerações Finais

A análise desenvolvida ao longo deste artigo permitiu evidenciar que os fósseis, inseridos no contexto da geodiversidade, assumem papel relevante na compreensão das relações entre natureza e sociedade, ao integrarem dimensões físico-naturais, territoriais e simbólico-culturais do espaço geográfico. A partir da articulação entre revisão teórica e reflexão interdisciplinar, observou-se que esses elementos contribuem para ampliar o escopo analítico dos estudos ambientais, especialmente ao tensionar a predominância de abordagens centradas na dimensão biótica.

Os fósseis se destacam como narradores privilegiados do tempo profundo da Terra e, para além de seu valor científico e histórico, eles expressam múltiplas dimensões culturais, educativas e identitárias, constituindo patrimônio natural e cultural que demanda proteção jurídica, científica e social. Como demonstrado, o registro fóssilífero brasileiro, exemplificado pelas Bacias do Araripe, do Paraná e do Bauru, constitui não apenas uma fonte singular de conhecimento, mas também um recurso estratégico para a educação geocientífica, o geoturismo, o planejamento territorial e o fortalecimento de iniciativas como os geoparques.

Os resultados indicam que a perspectiva dos serviços da natureza ainda apresenta predominância de enfoques centrados na dimensão biótica, ao passo que os componentes abióticos permanecem sub-representados nos debates teóricos e nas estratégias de gestão ambiental. Nesse contexto, a incorporação da geodiversidade como categoria analítica contribui para ampliar a compreensão das dinâmicas ambientais,

especialmente no que se refere à integração entre processos físicos e ações humanas no espaço geográfico.

O conjunto das discussões desenvolvidas permite afirmar que a conservação da geodiversidade requer uma mudança de paradigma ético. Embora a valoração antropocêntrica ainda predomine, sobretudo em políticas voltadas a benefícios imediatos, uma perspectiva ecocêntrica se mostra fundamental para reconhecer o valor intrínseco dos elementos abióticos, cuja existência e funcionamento independem da utilidade humana. Esse reposicionamento favorece abordagens mais sistêmicas e sustentáveis, especialmente em um contexto de mudanças climáticas, intensificação das pressões territoriais e crescente demanda por recursos naturais.

Do ponto de vista científico, este estudo contribui ao sistematizar e integrar, em uma mesma abordagem analítica, diferentes perspectivas sobre geodiversidade, serviços da natureza e fósseis, temas frequentemente tratados de forma fragmentada na literatura. Ao propor essa articulação, o trabalho reafirma uma perspectiva geográfica de análise, ao evidenciar o papel dos elementos abióticos na produção e na diferenciação do espaço geográfico, ampliando o escopo dos debates tradicionalmente centrados na dimensão biótica e aproximando-os das abordagens da Geografia Física contemporânea.

Trata-se de um esforço de aprofundamento teórico-analítico inserido em um percurso investigativo mais amplo das autoras, constituindo uma segunda aproximação ao tema, antecedida pela realização de mesa-redonda interdisciplinar que contribuiu para a construção e o amadurecimento das reflexões aqui apresentadas. Mais do que propor novos instrumentos de gestão, considerando a existência de dispositivos legais já voltados à proteção do patrimônio fossilífero, o trabalho assume uma finalidade formativa e educativa, ao ampliar a compreensão sobre os valores científicos, culturais e territoriais desses elementos da geodiversidade, contribuindo para sua maior visibilidade e reconhecimento social.

Declaração de uso de Inteligência Artificial

Este trabalho contou com o uso de ferramentas de inteligência artificial (ChatGPT, OpenAI) como apoio na organização textual e revisão

linguística. As autoras revisaram criticamente todo o conteúdo e assumem integral responsabilidade pelas informações apresentadas.

Referências

ALAHUHTA, J. et al. The role of geodiversity in providing ecosystem services at broad scales. **Ecological Indicators**, v. 91, p. 47-56, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.068>. Acesso em: 24 nov. 2025.

BALAGUER, L. P.; GARCIA, M. G. M.; RIBEIRO, L. M. A. L. Avaliação qualitativa da geodiversidade Como subsídio para a identificação de serviços Ecossistêmicos: exemplo do Parque Estadual da Serra Do mar, Caraguatatuba-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 50., 2021, Brasília. **Anais...** Brasília: SBG, 2021. p. 26-29.

BARRETO, A. M. F. et al. Geopark Araripe: um patrimônio geológico e paleontológico do Nordeste do Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. da (Org.). **Geoparques do Brasil**: propostas. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. p. 311-343.

BARROS, O. A. The Museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens and the scientific tourism potential in the Cariri region, northeastern Brazil. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 47, Geo-Sciences, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X90317>. Acesso em: 24 nov. 2025.

BENTO, L. C. M. Abordagens sobre o conceito de geodiversidade e sua correlação com o clima. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 20., 2024, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Editora Realize, 2024. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/117821>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BENTO, L. C. M. Potencial geoturístico de quedas d'água do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 32, n. 68, p. 22-42, jan./mar. 2022. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/27124>. Acesso em: 15 jan. 2026.

BOYD, J.; BANZHAF, H.S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecol. Econ**, n. 63, p. 616-626, 2007.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2024. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 24 set. 2025.

BRASIL. Decreto-Lei nº 4.146, de 4 de março de 1942. Dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos. **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, 6 mar. 1942. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del4146.htm. Acesso em: 24 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 8.176, de 8 de fevereiro de 1991. Define crimes contra a ordem econômica e cria o Sistema de Estoques de Combustíveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 fev. 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8176.htm. Acesso em: 24 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em: 24 set. 2025.

BRILHA, J. **Patrimônio geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Viana do Castelo: Palimage, 2005.

BRILHA, J.; et al. Geodiversity – an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. **Environmental Science & Policy**, v. 86, p. 19-28, 2018.

CARVALHO, I. de S. (Ed.). **Paleontologia**: conceitos e métodos. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. v. 1.

CARVALHO, I. de S. Aspectos legais da comercialização de fósseis e sua influência na pesquisa e no ensino de paleontologia no Brasil. **Cadernos IG/UNICAMP**, [S. l.], v. 3, n. 1, 1993. Disponível em: https://igeo.ufrj.br/inc/isc/2/2_7.pdf. Acesso em: 30 jul. 2025.

CISNEROS, J. C. et al. Digging deeper into colonial palaeontological practices in modern day Mexico and Brazil. **Royal Society Open Science**, v. 9, n. 3, p. 210898, 2 mar. 2022. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.210898>. Acesso em: 28 jul. 2025.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997.

DAILY, G. C. **Nature's services**: societal dependence on natural ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological Economics**: principles and applications. Washington: Island Press, 2004.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393-408, 2002.

FISHER, B.; TURNER, R.K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecol. Econ**, n. 68, p. 643-653, 2009.

FOX, N. et al. Geo-ecosystem services: concept, methodology and application. **Ecosystem Services**, v. 46, p. 101207, 2020.

GARCIA, M.G.M. Ecosystem Services Provided by Geodiversity: Preliminary Assessment and Perspectives for the Sustainable Use of Natural Resources in the Coastal Region of the State of São Paulo, Southeastern Brazil. **Geoheritage**, n. 11, p. 1257-1266, 2019.

GOMES, A. S.; DANTAS NETO, J.; SILVA, V. F. Serviços ecossistêmicos: conceitos e classificação. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 12-23, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0002>

GORDON, J. E.; BARRON, H. F. Valuing geodiversity and geoconservation: developing a more strategic ecosystem approach. In: **Geodiversity Conference Proceedings for Scottish Geographical Journal**, June 2012.

GRAY, M. Geodiversity and geoconservation: what, why, and how? **Geodiversity & Geoconservation**, p. 4-12, 2005.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013.

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: developing the paradigm. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 123, n. 5, p. 652-663, 2012.

GRAY, M.; GORDON, J. E.; BROWN, E. J. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 124, p. 659-673, 2013.

HENRIQUES, M. H. et al. (Coord.). **Para aprender com a Terra**: memórias e notícias de geociências no espaço lusófono. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

HJORT, J. et al. Why geodiversity matters in valuing nature's stage. **Conservation Biology**, v. 29, n. 3, p. 630–639, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.12510>. Acesso em: 24 nov. 2025.

KELLNER, A. W. A. Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE - Um dos mais importantes depósitos fossilíferos do Cretáceo brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Eds.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM - SIGEP, 2002. v. 1, p. 121-130.

MEIRA, S. A. et al. Serviços ecossistêmicos da geodiversidade: avaliação e propostas de valoração em locais de interesse geológico do Parque Nacional de Ubajara, Ceará, Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. 62, p. 788-816, 2020.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2005.

NASCIMENTO, M. A. L.; SILVA, M. L. N.; MOURA-FÉ, M. M. Os Serviços Ecossistêmicos em Geossítios do Geopark Araripe (CE), Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, p. 119-132, 2020.

PESSOA, F.; et al. Geodiversidade e serviços ecossistêmicos Em trilhas de montanha na travessia Petrópolis – Teresópolis (Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 12., 2018, Crato. **Anais...** Crato: UGB, 2018. p. 1-6.

PINTO, D. G. S. **Distribuição geográfica das ocorrências fossilíferas em Uberaba**: uma análise crítica para a geoconservação. 2020. 39 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2020. Disponível em: <https://bdtd.ufmt.edu.br/bitstream/tede/1013/5/Dissert%20Debora%20G%20S%20Pinto.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

RABELO, T. O.; et al. A contribuição da geodiversidade na prestação dos serviços ecossistêmicos do manguezal. **REGNE**, v. 4, n. esp., p. 281-297, 2018.

REVERTE, F. C.; GARCIA, M. G.; BRILHA, J. Identificação dos serviços ecossistêmicos prestados pela geodiversidade da Bacia de Taubaté-SP: Rife Continental do Sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATRIMÔNIO GEOLÓGICO, 5., 2019, Crato. **Anais...** Crato, 2019.

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.

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.

SCHRODT, F. et al. To advance sustainable stewardship, we must document not only biodiversity but geodiversity. **PNAS**, v. 116, p. 16155-16158, 2019.

SILVA, M. L. N.; MANSUR, K. L. Ecocentrismo e sua aplicabilidade em estudos da geodiversidade. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 415-424, 2020.

SILVA, M. L. N.; MANSUR, K. L.; NASCIMENTO, M. A. L. Serviços ecossistêmicos da natureza e sua aplicação nos estudos da geodiversidade: uma revisão. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 4, n. 2, p. 699-709, 2018.

SOARES, A. V. et al. Geodiversidade: protagonista ou coadjuvante nas unidades de conservação – uma reflexão sobre os parques nacionais do estado de Minas Gerais (Brasil-MG). **Ciência Geográfica**, Bauru, v. XXVII, n. 2, jan./dez. 2023. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXVII_2/agb_xxvii_2_web/agb_xxvii_2-30.pdf. Acesso em: 9 nov. 2025.

WALLACE, K. J. Classification of ecosystem services: problems and solutions. **Biological Conservation**, v. 139, n. 3-4, p. 235-246, 2007.

Recebido em 06/02/2026

Aceito em 04/05/2026