



Margarida Penteado

Revista de
Geomorfologia



DINÂMICAS DA NATUREZA NA REGIÃO DE CARAJÁS COM FOCO NOS ATRIBUTOS CLÁSSICOS DA GEODIVERSIDADE

NATURE'S DYNAMICS IN THE CARAJÁS REGION WITH A FOCUS ON THE
CLASSIC ATTRIBUTES OF GEODIVERSITY

LA DINÁMICA DE LA NATURALEZA EN LA REGIÓN DE CARAJÁS CENTRADA
EN LOS ATRIBUTOS CLÁSICOS DE LA GEODIVERSIDAD

Railson Luz Santos

Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Para – UNIFESSPA

Email: railsonluz@unifesspa.edu.br

 ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9425-5463>

Abraão Levi dos Santos Mascarenhas

Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará – UNIFESSPA

Email: abraaolevi@unifesspa.edu.br

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0546-8836>

Maria Rita Vidal

Professora Doutora do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará – UNIFESSPA

Email: ritavidal@unifesspa.edu.br

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3392-3624>

RESUMO

Os aspectos da geodiversidade têm abarcado discussões teóricas e metodológicas, e na ciência geográfica os estudos de padrões de geodiversidade buscam a identificação e a classificação dos padrões espaciais, sendo cruciais para melhor gestão do geopatrimônio. A presente seção elencou a região de Carajás como locus de rica geodiversidade. Partindo da análise dos componentes geodiversos que integram a paisagem, tais como as estruturas litológicas, pedológica e geomorfológica, e posteriormente classificando-os por sua relevância científica, educacional e cultural. Para melhor estruturar os níveis de geodiversidade, os dados foram distribuídos em uma escala de importância de 1 a 5. Espera-se que tais valores possam ser usados como dados técnicos para subsidiar planos de geoconservação da geodiversidade das áreas em tela.

Palavras-chave: Região de Carajás. Geotecnologia. Geodiversidade.

ABSTRACT

Aspects of geodiversity have been the subject of theoretical and methodological discussions and, in Geographical Science studies of geodiversity patterns seek to identify and classify spatial patterns, which are crucial for better management of geopatrimony. This section listed the Carajás region as a locus of rich geodiversity. Starting with an analysis of the geodiverse components that make up the landscape, such as lithological, pedological and geomorphological structures, and then classifying them according to their scientific, educational and cultural relevance. To better structure the levels of geodiversity, the data was distributed on a scale of importance from 1 to 5. It is hoped that these values can be used as technical data to support geoconservation plans for the geodiversity of the areas in question.

Keywords: Carajás region. Geotechnology. Geodiversity.

RESUMEN

Los aspectos de la geodiversidad han sido objeto de discusiones teóricas y metodológicas, y en la ciencia geográfica los estudios de patrones de geodiversidad buscan identificar y clasificar patrones espaciales, que son cruciales para una mejor gestión de la geopatrimonio. En esta sección se presenta la región de Carajás como un locus de rica geodiversidad. Partiendo del análisis de



los componentes geodiversos que integran el paisaje, como las estructuras litológicas, edafológicas y geomorfológicas, para clasificarlos en función de su relevancia científica, educativa y cultural. Para estructurar mejor los niveles de geodiversidad, los datos se distribuyeron en una escala de importancia de 1 a 5. Se espera que estos valores puedan utilizarse como datos técnicos para subvencionar planes de geoconservación de la geodiversidad de las zonas en cuestión.

Palabras clave: Región de Carajás. Geotecnología. Geodiversidad.

INTRODUÇÃO

A discussão sobre geodiversidade e a importância crucial de sua preservação tem sido amplamente difundida nos últimos anos, assim no início dos anos de 1990 Sharples (1995) faz um chamamento para a necessidade de proteção da diversidade das rochas, das formas de relevo, solos, assim, os aspectos físicos também deveria ter importância da mesma maneira que se pensa a biodiversidade, o texto seminal de Stanley (2001) inicia a discussão da proteção/gestão do geopatrimônio tratando, também, como conceito científico.

Um levantamento realizado, nos bancos de dados Scopus e Web of Science por Kubalíková et al 2023, entre os anos de 1998 a 2022, afirmam que há um aumento expressivo de publicações relacionada as questões de geodiversidade, na segunda metade da década de 2000 teve um avanço nas publicações sobre temas de geodiversidade retratando iniciativa locais, regionais, nacionais e internacionais.

A dimensão da vulnerabilidade do patrimônio geomorfológico está presente na pesquisa de Bétard e Peulvast (2019), nessa mesma direção os estudos de Reynard (2024) revelam que toda feição geomorfológica pode ser considerada um geótopo, ou seja, é uma porção da superfície terrestre de particular importância para a compreensão da história da Terra, do clima e da vida. Outras dimensões, destacada por Reynard, refere-se a escala em relação com a extensão do patrimônio geomorfológico e por fim tem-se a dimensão da conformidade tipológica dentro do sistema geomorfológico associado ao valor paleogeográfico.

Embora tenha se passado pouco mais de trinta anos desde que os debates sobre esse conceito emergiram, é notável os avanços das pesquisas realizadas sobre esse tema tão relevante, como apontam os trabalhos de Claudino-Sales 2020 e 2021; Gray e Gordon 2020; Brocx e Semeniuk 2020; Fox et al. 2020; etc. acrescentando a dimensão da cultura como fator importante na valorização do geopatrimônio Panizza e Piacente (2009) desenvolve a ideia sobre a dimensão da cultura na caracterização de geomorfossítios, assim, Piacente (2005) tras a abordagem geológica para estudos de geosítios e a geodiversidade.

Importantes contribuições feitas por Jose Brilha (2005) sobre o tema de geodiversidade na forma tanto conceitual como de proposta de levantamento de geopatrimônio apresenta que a diversidade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos moldam as paisagens, formações rochosas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais permitem a sustentação à vida na Terra.

Sendo assim, a geodiversidade com suas variedades dos aspectos físicos (geologia, pedologia, formas de relevo) juntamente com a biodiversidade influenciam nosso planeta e seus ambientes, é, portanto, um fator que desempenha importante papel, através dos serviços geossistêmicos, fundamental na manutenção dos demais sistemas, Metzger et al. (2021) por meios dos estudos de fluxos dos serviços ecossistêmicos; bem como os benefício desses serviços como discutidos por Ehrlich e Mooney (1983).

O Geólogo Murray Gray (2004) surge promovendo a valorização da geodiversidade, destacando e associando-a a cinco valores fundamentais, tais como valor intrínseco, valor cultural e estético, valor econômico e o valor educacional e pesquisa. Em concordância com Mascarenhas e Vidal (2019), Brilha (2005) e Nascimento (2008), é de suma importância a identificação e a classificação desses padrões espaciais, para conservação e uso sustentável desses recursos.

Mascarenhas e Vidal (2019) utilizam como metodologia o *cluster*, como maneira de melhor organizar dos elementos de geodiversidade, e explicam que o processo de separação e qualificação por áreas maiores e menores do geopatrimônio, o qual possibilita uma melhor gestão desses recursos naturais. Uma metodologia bastante promissora aliada à geotecnologia, pois possibilita a definição de geossítios e geoparques, visto que guardam consigo a história dos processos naturais que moldaram o nosso planeta. Imagens de satélites em resolução de 15 metros como as Sentinel 2A usadas para identificação de cobertura vegetal, usando técnicas de geoprocessamento para obter índices de vegetação, as cenas de radar, com sensores interferométrico, como as do satélite ALOS-PALSAR de resolução de 30 metros, utilizados para gerar modelos digitais de superfície nos permite ter uma visão ampliada dos aspectos de formas de relevos, seja por meio de análises morfométricas ou estudos mais específicos de índices de dissecação de relevo.

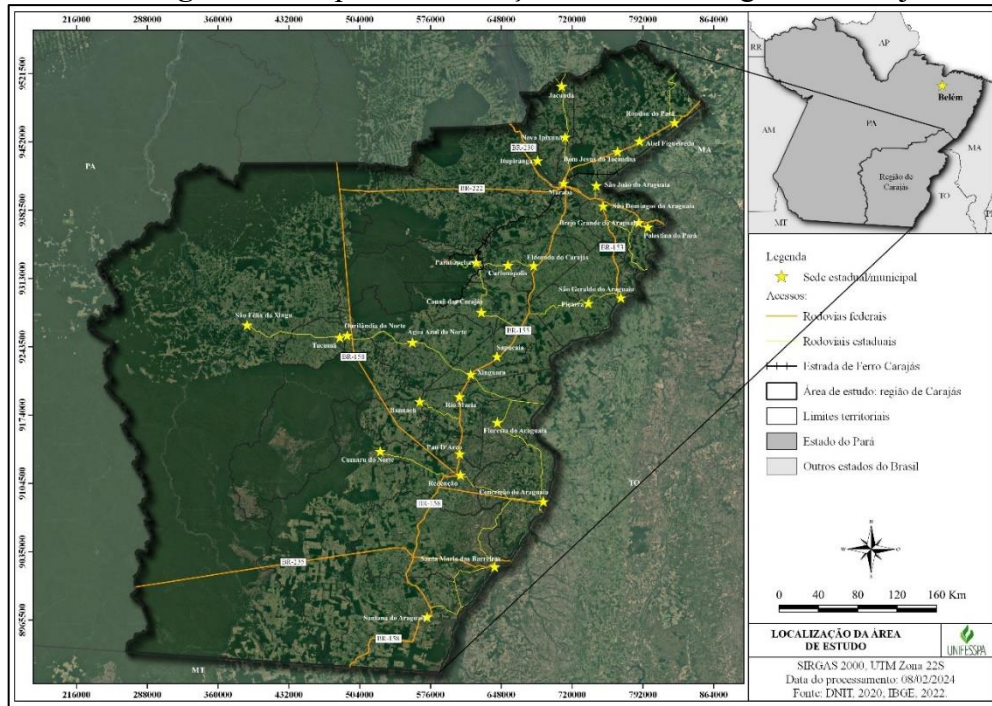
No ambiente amazônico, as imagens de drones com resoluções centimétricas, têm proporcionado uma melhor acurácia na espacialização e interpretação de fenômenos naturais e antrópicos, no sudeste do Pará à região de Carajás, é *sui generis*, primeiro por que a partir de voo em baixas alturas permite uma menor quantidade de cobertura de nuvens e, planejar voos escolhendo o melhor momento meteorológico ou sobre intervalos de queimadas na região, os estudos de identificação de geodiversidade tem tido ganhos qualitativos, em se tratando de áreas de difícil acesso objetivando identificar potenciais geopatrimônio as imagens de drone tem sido uma boa opção, Mascarenhas e Vidal (2023) realizaram um ensaio usando sensores embarcados em drone possíveis de serem utilizados em identificação e monitoramento de potenciais áreas de geodiversidade.

Para compreensão do recorte espacial da área de estudo, se faz necessário caracterizá-la (ver figura 1), deste modo, a região de Carajás está localizada no sudeste do estado do Pará, no norte do Brasil. A região de Carajás, de acordo com Leopoldo et al. (2023), é formada por 39 municípios, possuindo cidades com mais de 250 mil habitantes como Marabá e Parauapebas, sendo a mineração e a bovinocultura as principais atividades econômicas. A região apresenta grande riqueza mineral, desenvolvimento econômico, diversidade cultural e belezas naturais, podendo ser acessada por aeroportos, rodovias federais e estaduais e também possuindo acesso pela estrada de ferro Carajás.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na presente seção, fez-se uma sucinta revisão bibliográfica dos trabalhos mais recentes sobre a temática de geodiversidade. Construir modelos em representações espaciais de geodiversidade com uso das ferramentas geotecnológicas, sendo possível identificar temas geológicos, geomorfológicos e pedológicos, usando pesos para as várias feições encontradas, propondo classificar áreas com maiores e menores pontos de geodiversidade. Adotou-se a escala de nível de um a cinco, segundo a sua relevância e valoração da geodiversidade conforme os preceitos de Gray, 2004; 2008; 2018.

Figura 1 - Mapa de localização e acesso da região de Carajás



Fonte: DNIT, 2020, IBGE, 2022, Adaptação dos autores.

No estado do Pará Silva, Rodrigues e Pereira (2015) realizaram medidas de geodiversidade integrando elementos abióticos com uso mapas temáticos em uma variedade de escala que estavam entre 1:25000, 1:100000 e 1:250000 depois aplicaram o índice de geodiversidade que variou entre 4 a 32 índices de riqueza de geodiversidade na bacia do rio Xinxu.

Apresentam-se os mapas de geologia, geomorfologia e pedologia como subsídios ao modelo de geodiversidade da região de Carajás, não tendo mapas de ocorrência de fósseis. Os Shapefile foram disponibilizados pelo banco de dados ambientais do IBGE. A partir da tabela de atributos desses arquivos, foi gerada uma coluna com os quais foram atribuídos pesos que permitem ranquear as unidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas. Posteriormente, esses arquivos em formato Shapefile vetoriais foram convertidos em imagem Raster com resolução de pixel de 100 m².

O mapa de geodiversidade teve sua resolução compatível com a escala de 1:30.000 contendo as cinco classes pré-estabelecidas, onde aplica-se valores de pesos seguindo a escala de importância (índices de geodiversidade) do geopatrimônio a partir das maiores marcas deixadas pela evolução da dinâmica expressa nas rochas. Assim quanto maior importância científica, para a região de carajás optou-se pela raridade de eventos passados que deixaram marcam atreladas a estrutura litológica e as geoformas, assim estabelecidos:

- valor 5 de alta importância;
- valor 4 de moderadamente alta;
- valor 3 para média importância;
- valor 2 para moderadamente Baixa importância e;
- valor 1 para baixa importância.

Os pesos seguiram a escala de importância do geopatrimônio a partir das maiores marcas deixadas pela evolução da dinâmica expressa nas rochas, assim quanto maior importância científica e de raridade foi atribuído o valor 5 de alta importância, valor 4 de moderadamente

alta, valor 3 para média importância, valor 2 para moderadamente baixa e 1 para baixa importância, conforme se apresenta no quadro 1.

Para espacializar as unidades dispostas no quadro 01, foi realizada a sobreposição das unidades, somados todos os atributos (Geologia + Geomorfologia + Pedologia) e por fim dividido por três, conforme fórmula demonstrada.

$$\text{Geodiversidade: } \sum_{n=1}^{\infty} (\text{Geologia} + \text{Geomorfologia} + \text{Pedologia})$$

A síntese dos atributos da geodiversidade combina-se entre si, agrupando aspectos geotectônicos, geoformas da paisagem e pedogênese. Na região de Carajás, os eventos morfotectônicos descritos por Costa e Hausui (1992) e Macambira et al (1999) e coevolução geocológica Kubalíková (2023), apresentam bons exemplares de geopatrimônio para além dos recursos metalogênicos.

A presente categorização dos atributos de geodiversidade atende aos aspectos de raridade regional, com o valor mais alto, quanto mais raro for a rocha derivada desses processo do contrário teremos valores menores, assim para a região amazônica os eventos plutônicos e vulcânicos deixaram marcas indelével sobre as formas de relevo, essas assinaturas de eventos passados se fazem presente na composição litológica da região, sendo que de modo geral se pensar a região amazônica como uma grande planície sedimentar, na região de carajás eventos tectônicos regionais constituem a estrutura que dá forma ao relevo.

Outro elemento para categorizar os atributos em tela diz respeito as variabilidades climáticas, no caso dos pulsos climáticos as paisagens apresentam-se sobre vários ciclos de erosão, por meio das diferenças formações geológicas, processos (neo)tectônicos, variações nos tempos e clima, auxiliam na gênese dos relevos e dos solos demonstram os mecanismos responsáveis pela diferenciação da cobertura vegetal nos trópicos.

A predominância de rochas sedimentares, metassedimentares e metavulcânicas sedimentares revelam as distintas fases da organização estrutural ocorrida por todo o Fanerozóico sendo as redes de drenagens as paisagens mais representativas a exemplo das bacias Amazônica, Tocantins-Araguaia, Xingu e Tapajós com seus mega ambientes deposicionais de origem fluviais e lacustres.

Quadro 1 - Características do mapa de geodiversidade.

VALORES DE GEODIVERSIDADE		ATRIBUTOS DE GEODIVERSIDADE		
		GEOLOGIA	GEOMORFOLOGIA	PEDOLOGIA
5	Alta	Rochas Metavulcânicas derivadas de processos tectônicos regionais, domínio dos Greenstones, aparecem em rochas do proterozóico médio.	Dissecação aguçada derivadas de rochas cristalinas apresentam forte controle estrutural, intenso processos erosional em fases deposicionais	Argissolos vermelhos A degradação de rocha com alto teor de óxido de ferro encontrados em terrenos declivosos e ondulados originados em climas quentes e muito úmidos (alto potencial hidráulico que a propriedade

				transmissora de água durante os períodos de chuva).
4	Moderadamente Alta	Vulcânicas Rochas de idades arqueanas, derivadas de vulcanismos continental constituídos de materiais máficos tendo variada composição no processo de ascensão do magma.	Dissecação tabulares + Estruturais Apresentam feições tabulares que passaram por intensos processos de dissecação predominam, ai, as rochas basálticas. Os aspectos nos planos do relevo revelam a importância dos condicionantes do clima (radiação e umidade) no aplainamento litológico.	Latossolos vermelhos Formando em ambientes hidromórficos são bem intemperizados, os períodos de estiagens contribuem para a desagregação dos materiais máficos.
3	Média	Metamórficas Algumas rochas como os jaspilitos preservam suas estruturas sedimentar	Pediplanos Ações do clima atuando sobre as rochas metamórficas por meio de processos de dissolução e lixiviação permitem que a formação ferrífera bandada dê condição de ambientes propicio ao desenvolvimento de cavidades naturais	Cambissolo háplico Desenvolvidos em borda de platô contribuem para um ambiente de pedológico pouco desenvolvido.
2	Moderadamente Baixa	Metassedimentar Em áreas onde apresentar rochas quartzíticas, micaxistas, a rigor os quartzos tem granulação muito variável	Planos Indiscriminados Apresentam superfícies de erosão indiferenciadas em contatos de vertentes íngremes com rupturas de declives	Gleissolos háplicos Solos com argila de alta atividade e de baixa fertilidade com teores elevados de alumínio
1	Baixa	Sedimentar Depósitos aluvionares, fluviais e cascalhos apresenta-se como a fase mais recente da intemperização, retrabalhando pelos fluxos hidráulicos das bacias hidrográficas	Planície Fluvial dinâmica hidrográfica responsáveis pelas geoformas de canais e terraços em ambientes fluviais.	Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos São solos que estão presente em leitos rochosos e sedimentares das redes de drenagens

Fonte: modificado de Mascarenhas, Vidal (2019).

Para o desenvolvimento do presente trabalho, optou-se pelo método de cálculo e quantificação em geodiversidade. Apesar da diversidade dos elementos que a compõem, somente os elementos crustal, os tipos de solo e os modelos de relevos que estão sendo considerados nesta pesquisa. Mascarenhas e Vidal (2019) mostram que fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos devem ser analisados integradamente para se chegar a unidades

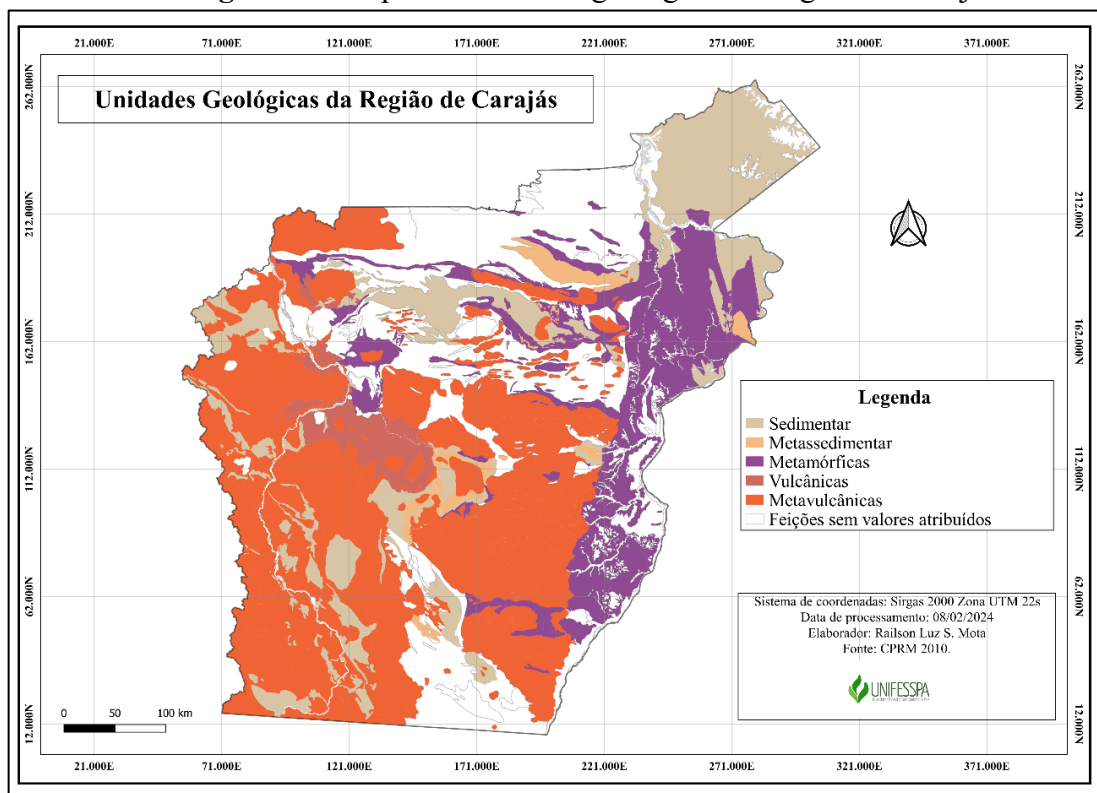
homogêneas, deste modo, se faz necessário analisar de forma integrada os atributos da geodiversidade.

Para sistematizar os dados e o grau de relevância que esses elementos apresentam em uma cartografia digital, foram utilizados o recorte espacial da região de Carajás, junto aos dados vetoriais extraídos dos sites oficiais do IBGE-BDIA (Banco de Dados de Informações Ambientais), para a elaboração de mapas de solo (pedológicos) e relevo (geomorfológicos). Quanto aos dados crustal (geológicos), esses foram disponibilizados pelo site do CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais), onde foram processados em uma escala de 1:250.000.

Para o processamento dos dados, buscou-se utilizar o programa de geoprocessamento Quantum Gis (Qgis), visto que é um software de código aberto que permite a análise e edição de dados georreferenciados. A versão recorrida foi a 3.28.8-Firenze. Ainda foi utilizado para a elaboração do mapa de geodiversidade em escala gradual a ferramenta Google Hybrid. A partir do processamento dos dados selecionados, foi possível extrair como produtos arquivos em formatos GeoTIFF georreferenciados.

O mapa de unidades geológicas da região de Carajás (figura 2) é agrupado por três grandes conjuntos de rochas, as rochas sedimentares, metavulcânicas e vulcânicas, o que, segundo Mascarenhas e Vidal (2019), exprimem as marcas de processos tectônicos e neotectônicos que estão presente na história do nosso planeta. Rochas sedimentares, metassedimentares e metamórficas estão classificadas em valoração com pesos 1, 2 e 3 devido as suas importâncias científica e cultural, portanto, conforme os pressupostos de Gray (2004) e Brilha (2005). Quanto as feições litológicas vulcânicas e metavulcânicas foi atribuído pesos 4 e 5, essa são dotadas de valores culturais e sobretudo econômicos, logo, conforme a procura do mercado, como gemas, cristais, cobre, ferro, ouro e outros minerais.

Figura 2 – Mapa das unidades geológicas da região de Carajás.

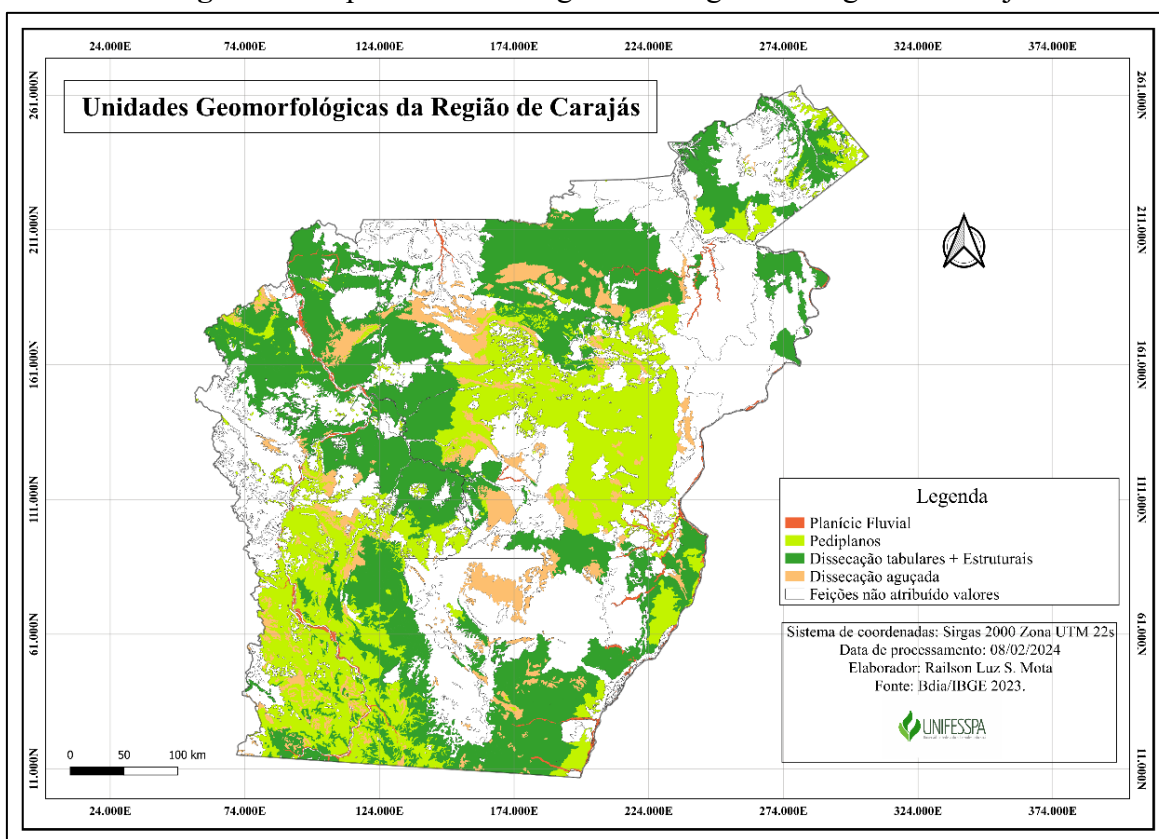


Fonte: CPRM, GEOBANK, 2010, Adaptação dos autores.

Mascarenhas e Vidal (2019), adotam de forma geral o critério cênico da paisagem para a classificação de valores elencados no (quadro 1) e justificam argumentando que “as planícies de acumulação (praias de rios) em toda a calha fluvial, exerce um valor turístico e de uso recreativo, econômico” (Mascarenhas e Vidal, 2019, p. 33), ao passo que a feição pediplanos tem propensão a formação de cavidades naturais como abrigos, cavernas, grutas e também podem apresentar queda d’água, que além de abrigarem a fauna cavernícola ainda podem ser usadas como lugar de religiosidade.

Para o mapa de unidades geomorfológicas (figura 3), foram adotados os mesmos padrões de valores que o mapa das unidades geológicas (figura 2). Nascimento (2007) explica que esses padrões geomorfológicos exprimem fortes valores culturais, estéticos, intrínsecos e consequentemente subjetivos.

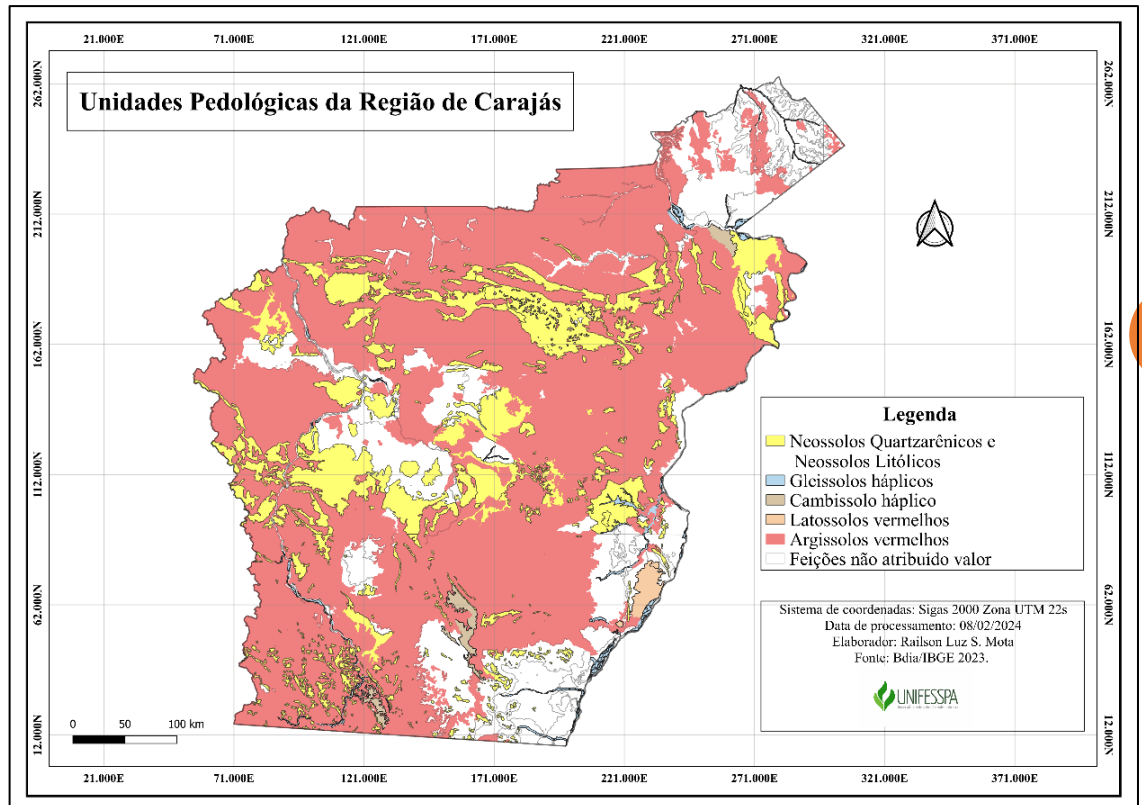
Figura 3: Mapa das unidades geomorfológicas da região de Carajás.



Fonte: Bdia/IBGE, 2023, Adaptação dos autores.

O Mapa de unidades pedológicas (figura 4) seguiram o mesmo critério dos mapas anteriores, Mascarenhas e Vidal (2009) salientam que as feições classificadas de solo na (tabela 1), tem valoração agrônômica e econômica, nesse sentido para a atividade agrônômica, requer solo de classificação (3 a 5) dependendo do tipo cultura cultivada. Para o uso industrial, como cerâmica e produtos similares, são solos de classificação (1 a 3).

Figura 4 – Mapa das unidades pedológicas da região de Carajás.



Fonte: Bdia/IBGE, 2023, Adaptação dos autores.

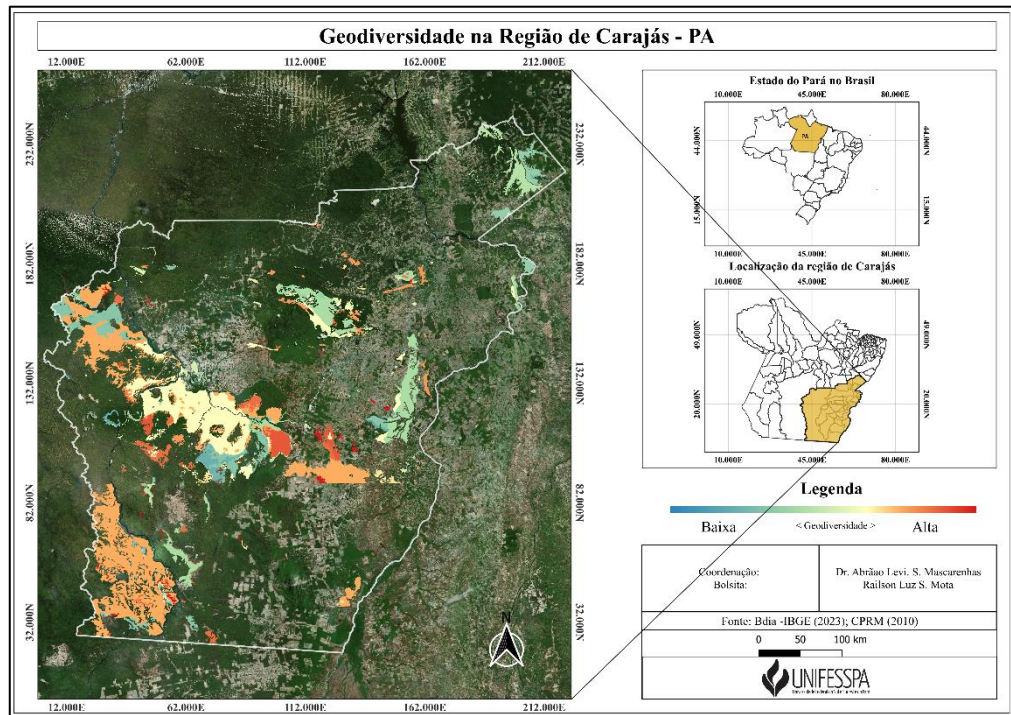
As estruturas dos solos como os geohorizonte, processos físicos e químicos descrita por Ma et al. (2017) são essenciais para compreender a diversidade pedológica, e como tais elementos interferem nos processos de uso e cobertura do solo auxiliando no controle de fluxos hidrosedimentar, além de envolver complexas relações no desenvolvimento das paisagens como as já apresentadas por Zinck (2023); Ibáñez e Brevik (2023); Queiroz Neto (2000); Rubia et al. (2019); Ibáñez e Bockheim (2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É notável que a região de Carajás dispõe de um expressivo padrão de geodiversidade conforme figura 05, sobretudo a parte oeste que inicia no município de São Félix do Xingu a Cumaru do Norte, os níveis têm maior concentração mais precisamente em terras indígenas do povo Kayapó, que apresenta todos os padrões de baixa a alta geodiversidade (1 a 5) esses resultados tem uma relação muito forte com os valores de geodiversidade alcançados por Bétard e Peulvast (2019) e Silva, Rodrigues e Pereira (2019), resguardando a presença de fósseis encontrados pelos autores na área estudadas por eles.

A porção sudoeste formadas por colinas e platô em rochas graníticas e planícies fluviais como rio Ararandeuá e rio Xingu tem níveis moderadamente alta a alta (4 e 5), corresponde por 47,99% do total da área conforme apresentado na tabela 1, dados encontrado por Silva, Rodrigues e Pereira (2019), para a mesma região, reconhecem nas áreas do município de São Félix do Xingu como tendo médios e altos pontos de riqueza em geodiversidade, a época essa áreas ainda não tinha sofrido intervenção da construção da Usina hidrelétrica de Belo Monte, da qual os autores supracitados já alertavam para a vulnerabilidade de geopatrimônio encontrado nessa porção da bacia, principalmente na volta grande do Xingu.

Figura 5 – Mapa de geodiversidade da região de Carajás em escala gradual de a alta.



Fonte: Bdia/IBGE, 2023, CPRM, 2010, Adaptação dos autores.

A Geodiversidade na região de Carajás apresenta uma distribuição fragmentada, embora algumas feições demonstrem uma concentração em áreas específicas. O índice de baixa geodiversidade tem maior concentração na porção oeste da região de Carajás, englobando os municípios de Cumaru do Norte e as terras indígenas do povo Kayapó.

Na porção nordeste os municípios que vão desde Bom Jesus do Tocantins a Rondon do Pará encontram-se feições de valoração de padrões moderadamente baixa (índices de geodiversidade 2), concentrados na parte norte e leste (região de Paragominas e Ulianópolis), abrangendo desde os municípios de Marabá à Floresta do Araguaia. Também há pontos relevantes no município de São Félix do Xingu, nas terras indígenas Badjonkore, nessas áreas Mascarenhas e Vidal (2019) já haviam apontados para as características desse setor. Já na parte norte e nordeste, que se estende dos municípios de Rondon do Pará a Floresta do Araguaia, apresenta níveis de baixa a média geodiversidade (1, 2 e 3), representando 52,01% do total da área de Carajás, conforme a tabela 1.

Índice de geodiversidade definido como média geodiversidade 3 apresentou maior concentração nas terras indígenas do povo Kayapó, no município de São Félix do Xingu, índices de geodiversidade moderadamente alta e alta, respectivamente, 4 e 5, estão em uma maior distribuição, corroborando com os índices de geodiversidade adotados pela metodologia de Bétard e Peulvast (2019) e alcançando os mesmos índices de geodiversidade, de outra forma onde Bétard e Peulvast (2019) encontram hot spot de geodiversidade e, Mascarenhas e Vidal (2019) encontram índices de moderadamente alta e Alta a escala cartográfica apresentam bons resultados de espacialização de padrões de geodiversidades.

A geodiversidade, moderadamente alta, tem maior concentração na parte oeste e sudoeste da região estudada, ao passo que a alta diversidade está concentrada também nas terras dos povos Kayapó e se estendendo até o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, localizado entre os municípios de Parauapebas e Canaã dos Carajás.

Através do processo de identificação e classificação dos padrões, foi viabilizado o cálculo das áreas dos polígonos conforme descrito na tabela 01. Notavelmente, os níveis de baixa geodiversidade apresentaram distribuição de área mediana em km², uma parcela de 27,10%,

relativamente reduzida em relação à área total. Os padrões de geodiversidade moderadamente baixa e média ocuparam uma área um pouco menor, 24,91% em relação à área total, em contrapartida, os níveis de moderadamente alta e alta geodiversidade se estenderam por áreas mais extensas, representando conseqüentemente uma fatia de 47,99%, significativamente maior da área total.

Tabela 1: Distribuição por área em km²

Geodiversidade	Área total em km ²	Área total em %
1. Baixa	10.667,608	27,10
2. Moderadamente baixa	2.181,140	5,54
3. Média	7.627,261	19,37
4. Moderadamente alta	18.331,650	46,57
5. Alta	551,119	1,42

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os arranjos espaciais dos padrões de paisagens demonstram riquezas geodiversas carente de dados em escalas tipológicas. Quase toda a sua extensão é possível encontrar a supressão da vegetação original por atividades agropecuárias. Para a porção central da região de Carajás, observam-se subsistemas formadores da considerável bacia de drenagem do rio Itacaiúnas e afluentes, como os rios Parauapebas, Vermelho e Sororó, que drenam o complexo da Serra dos Carajás, Cinturão Itacaiúnas e as depressões interplanálticas tocantinas.

Na porção sul da região de Carajás, encontra-se o subsistema rio Vermelho, com elaboração de grandes vales fluviais em formato de “V”, atestando as resistências litológicas onde o canal principal fez uma enorme incisão (construção de talvegues) que erodiu gradualmente as faces do relevo. Apresentam complexos ambientes geomorfológicos que datam do período Neoproterozoico, e rochas sedimentares do período holocênico.

CONCLUSÃO

De fato, a geotecnologia tem proporcionado maior compreender a espacialização da geodiversidade na região de Carajás, as ferramentas de sistema de informação geográfica utilizadas no presente estudo, tendo como base e adaptação da metodologia dos trabalhos de Bétard e Peulvast (2019) para o estado do Ceará e a metodologia de Silva, Rodrigues e Cleide (2019) para a bacia hidrográfica do Xingu tem em comum, encontrar padrões espaciais de geodiversidade. Essas contribuições permitem monitorar a geodiversidade, facilitando as tomadas de decisões na gestão e o uso sustentável tanto da biodiversidade como das geodiversidade.

Os resultados preliminares apontam que a região de carajás é rica em geodiversidade com padrões de moderadamente alta e alta perfazendo um total de 18.882,77 km², correspondendo a 47,99% do total da região, ficando um total de 52,01% para os demais padrões, ou seja, com padrões baixo, moderadamente baixo e médio.

Por tanto identificar e classificar os elementos da geodiversidade com base em suas potencialidades e vulnerabilidades representa o passo inicial no processo de preservação desse patrimônio natural. A qualificação e organização dos dados permite o inventário dos elementos naturais, e conseqüentemente, a formulação de políticas públicas voltada para a conservação desse patrimônio natural por meio da criação de geoparques, geossítios e o desenvolvimentos de outras atividades relacionadas à geodiversidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa de extensão Pibex-Projeto da Unifesspa, bem com as bolsas de desenvolvimento tecnológico e industrial do Pará (DTIC-C) pela Fadesp junto ao Projeto "Produção de subsídios à formulação de políticas públicas para a Região de Carajás", no âmbito do convênio n. 10/2020 FAPESPA/UNIFESSPA.

REFERÊNCIAS

BÉTARD, F.; PEULVAST, J. P. Geodiversity Hotspots: Concept, Method and Cartographic Application for Geoconservation Purposes at a Regional Scale. **Environmental Management**, v. 63, 2019.

BRILHA, Jose. **Patrimônio Geológico e Geoconservação**: A conservação da natureza na sua vertente geológica. 1ª edição. Braga/PT: Palimage, 2005.

BROCX, MAGARET; SEMENIUK. Vic. Geodiversity and the '8Gs': a response to Gray & Gordon 2020. **Australian Journal of Earth Sciences**. Taylor & Francis, 2020, VOL. 67, NO. 3, 445–451 <https://doi.org/10.1080/08120099.2020.1722966>

COSTA, João B. S.; HAUSUI, Yociteru. Aspectos tectônicos fundamentais do proterozóico médio na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, n.22, v. 4, 1992.

CLAUDINO-SALES, Vanda. Geodiversity and geoheritage in the perspective of geography. **Bulletin of Geography. Physical Geography Series**. Online. 29 December 2021. No. 21, pp. 45-52. [Accessed 20 February 2024]. DOI 10.2478/bgeo-2021-0008.

CLAUDINO-SALES, Vanda. **Geodiversidade do semiárido**. Sertão Cult, Sobral, CE:, 2020.

EHRlich, Paul R. & MOONEY, Harold A. Extinction, Substitution, and Ecosystem Services. **BioScience**, 33: 248-254.

FOX, Nathan; GRAHAM, Laura J.; EIGENBROD, Felix; BULLOCK, James M.; PARKS, Katherine. Incorporating geodiversity in ecosystem service decisions. **Ecosystems and People**. Taylor & Francis, 2020. DOI: 10.1080/26395916.2020.1758214

GRAY, Murray; GORDON, John E. Geodiversity and the '8Gs': a response to Brocx & Semeniuk (2019). **Australian Journal of Earth Sciences**. Taylor & Francis, vol.67, n°3, 2020. DOI:10.1080/08120099.2020.1722965

IBÁÑEZ, Juan J.; BREVIK, Eric C. **Geodiversity and Geopedology in a Logarithmic Universe**. Chapter 10. Zinck et al (Orgs). *Geopedology An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. 2ª ed., 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-20667-2>

IBÁÑEZ, Juan J.; BOCKHEIM, James. **Pedodiversity**. CRC Press, 2013.

LEOPOLDO, Eudes; MONTEIRO, Maurílio de Abreu; MASCARENHAS, Abraão L. S; VIDAL, Maria Rita e THÉRY Hervé. *Atlas da Região de Carajás: uma introdução*, **Confins**, Vol. 61, 2023, 2024. URL : <http://journals.openedition.org/confins/55509> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/confins.55509>

MA, Yu-jun et al. Hydropedology: Interactions between pedologic and hydrologic processes across spatiotemporal scales. **Earth-Science Reviews**. 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.05.014>

MACAMBIRA, Moacir B. et al. Geocronologia da granitogênese da província Amazônia central brasileira: uma revisão **Revista Brasileira de Geociências**, n. 20, v. 1-4,1990.

MASCARENHAS, Abrão L. S; VIDAL, Maria Rita. Medindo padrões de geodiversidade da região hidrográfica do Tocantins, Pará, Amazonia-Brasil. **Revista do Inst. Hist e Geo. Do Pará**, Belém-PA, 2019. Disponível em:
<https://www.ihgp.net.br/revista/index.php/revista/article/view/125>. Acesso em: 15 set. 2023.

MASCARENHAS, Abrão L. S; VIDAL, Maria Rita. Valorizar a geodiversidade e proteger os serviços geossistêmicos na Região de Carajás, **Confins**, Vol.61, 2023, URL:
<http://journals.openedition.org/confins/55066> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/confins.55066>

METZGER, Jean. P. et al. Considering landscape-level processes in ecosystem service assessments. **Journal Science of the Total Environment**, Elsevier, n.796, 2021. URL:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149028>.

NASCIMENTO, Marcos A. L et al. **Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo: Trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico**. 1ª edição. Rio grande do Norte: Sociedade brasileira de geologia, 2008.

SILVA, Juliana P., RODRIGUES, Cleide; PEREIRA, Diamantani I. Mapping and Analysis of Geodiversity Indices in the Xingu River Basin, Amazonia, Brazil. **Geoheritage**, nº7, 337–350 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0134-8>

KUBALIKOVÁ. Lucie. et al. Visages of geodiversity and geoheritage: a multidisciplinary approach to valuing, conserving and managing abiotic nature. Visages of Geodiversity and Geoheritage. **Geological Society**, nº530 London, Special Publications. 2023 DOI:
<https://doi.org/10.1144/SP530-2022-321>

QUEIROZ NETO, José P. Geomorfologia e pedologia. **Rev. Brasileiro de Geomorfologia**, v.1, n1, 2000.

REYNARD, E. Géomorphosites et paysages. **Revue Géomorphologie: relief, processus, Environnement**, v. 3, 2005.

RUBIA, Felipe G. et al. Pedogeomorphological systems in the interpretation of the evolution of quaternary landscapes in humid tropical climates. **Mercator**, Fortaleza, v. 18, e18020, 2019. ISSN:1984-2201

STANLEY. Mic.Geodiversity strategy. **Progeonews**, nº 1, 2001.

VIDAL, Maria Rita et al. Geoecologia: aportes para uma aproximação taxonômica das unidades de paisagens para a região de Carajás. **Novos Cadernos NAEA**, [S.l.], v. 25, n. 4, dez. 2022. ISSN 2179-7536. Disponível em:
<<https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/12871/9546>>. Acesso em: 15 set. 2023. doi:<http://dx.doi.org/10.18542/ncn.v25i4.12871>.

ZINCK, Joseph A. **Relationships Between Geomorphology and Pedology: Brief Review.**
In: Zinck, J.A., Metternicht, G., del Valle, H.F., Angelini, M. (eds) Geopedology. Springer,
Cham. 2023 https://doi.org/10.1007/978-3-031-20667-2_3