

## AVALIAÇÃO DA GEODIVERSIDADE DO SEGUNDO PLANALTO PARANAENSE COMPARANDO CÉLULAS DE QUANTIFICAÇÃO DE TAMANHOS DISTINTOS

*ASSESSMENT OF THE GEODIVERSITY OF THE SECOND PARANÁ PLATEAU BY COMPARING CELLS OF DIFFERENT SIZES*

*EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DEL SEGUNDO PLANALTO PARANAENSE COMPARANDO CELDAS DE CUANTIFICACIÓN DE TAMAÑOS DISTINTOS*

*ÉVALUATION DE LA GÉODIVERSITÉ DU SECOND PLATEAU PARANAENSE EN COMPARANT DES CELLULES DE QUANTIFICATION DE TAILLES DISTINCTES*

**MILENA RODRIGUES MUDRE**

Mestra em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (PPGG/UNICENTRO)

E-mail: [mimudre28@gmail.com](mailto:mimudre28@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5965-037X>

**JULIO MANOEL FRANÇA DA SILVA**

Professor Doutor do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (DEGEO-I; PPGG/UNICENTRO)

E-mail: [jmsilva@unicentro.br](mailto:jmsilva@unicentro.br), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4778-2591>

Recebido: 09/24    Avaliado: 12/24    Publicado: 01/25

### RESUMO

O presente artigo enfatiza índices de geodiversidade gerados por sobreposição de grades em bases cartográficas do meio abiótico do Segundo Planalto Paranaense. Buscando a definição da grade mais compatível com a escala cartográfica das bases (1: 250.000), comparou-se células de grade em dois tamanhos (25 x 25 km e 12,5 x 12,5 km). Os resultados indicaram variações consideráveis nos padrões de distribuição e na proporção das classes de geodiversidade (Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta), mas considerando os parâmetros e escala adotados, considera-se que a grade formada por células de 12,5 x 12,5 km consegue representar, de maneira mais expressiva, os núcleos de maior ou menor geodiversidade da área de estudo. Consta-se, entretanto, a necessidade de ampliação de testes comparativos, incluindo distintos formatos e tamanhos de células, algoritmos e operações de análise espacial.

**Palavras-chave:** SIG. Índice de Shannon. Álgebra de Mapas. Geodiversidade Quantitativa.

### ABSTRACT

The present article emphasizes geodiversity indices generated by overlaying grids on cartographic bases of the abiotic environment of the Second Paraná Plateau. Seeking to define the grid most compatible with the cartographic scale of the bases (1:250,000), grids of two sizes (25 x 25 km and 12.5 x 12.5 km) were compared. The results indicated considerable variations in distribution patterns and the proportion of geodiversity classes (Very Low, Low, Medium, High, and Very High). However, considering the parameters and scale adopted, it is believed that the grid formed by 12.5 x 12.5 km cells can more effectively represent the cores of higher or lower geodiversity in the study area. It is noted, however, that there is a need for broader comparative testing, including different shapes and sizes of cells, algorithms, and spatial analysis operations.

**Keywords:** GIS. Shannon's Index. Map Algebra. Quantitative Geodiversity.

### RESUMEN

El presente artículo enfatiza índices de geodiversidad generados por la superposición de grillas en bases cartográficas del medio abiótico del Segundo Planalto Paranaense. En la búsqueda de definir la grilla más compatible con la escala cartográfica de las bases (1:250.000), se compararon celdas de grilla de dos tamaños (25 x 25 km y 12,5 x 12,5 km). Los resultados mostraron variaciones considerables en los patrones de distribución y en la proporción de las clases de geodiversidad (Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta). Sin embargo, considerando los parámetros y la escala adoptados, se considera que la grilla formada por celdas de 12,5 x 12,5 km representa de manera más efectiva los núcleos de mayor o menor geodiversidad del área de estudio. No obstante, se destaca la necesidad de ampliar las pruebas comparativas, incluyendo diferentes formatos y tamaños de celdas, así como algoritmos y operaciones de análisis espacial.

**Palabras clave:** SIG. Índice de Shannon. Álgebra de Mapas. Geodiversidad Cuantitativa.

## RÉSUMÉ

Le présent article met l'accent sur les indices de géodiversité générés par la superposition de grilles sur des bases cartographiques de l'environnement abiotique du Second Plateau Paranaense. Dans le but de définir la grille la plus compatible avec l'échelle cartographique des bases (1:250 000), des cellules de grille de deux tailles (25 x 25 km et 12,5 x 12,5 km) ont été comparées. Les résultats ont montré des variations considérables dans les schémas de distribution et dans la proportion des classes de géodiversité (Très Faible, Faible, Moyenne, Élevée et Très Élevée). Cependant, en tenant compte des paramètres et de l'échelle adoptés, on considère que la grille formée par des cellules de 12,5 x 12,5 km peut représenter de manière plus significative les noyaux de géodiversité plus ou moins élevée dans la zone d'étude. Néanmoins, il est nécessaire d'élargir les tests comparatifs, en incluant différents formats et tailles de cellules, ainsi que des algorithmes et des opérations d'analyse spatiale.

**Mots-clés:** SIG. Indice de Shannon. Algèbre Cartographique. Géodiversité Quantitative.

## INTRODUÇÃO

O planejamento territorial, em suas diferentes abordagens e escalas de análise, requer amplo conhecimento dos diversificados elementos bióticos e abióticos do meio físico, bem como de suas interações sistêmicas.

Enquanto o termo *Biodiversidade* é amplamente utilizado para destacar a variabilidade biótica (flora e fauna) da Terra (Wilson, 1988), o de *Geodiversidade* foi proposto com a finalidade de especificar sua variabilidade abiótica, destacando-se as contribuições iniciais de Dixon (1996), Stanley (2000), Gray (2004) e Kozłowski (2004). Em que pese ênfases e complementações particulares, os conceitos dos autores mencionados têm em comum a abordagem direta aos componentes do meio abiótico, aos processos que os originaram, aos distintos ambientes de sua origem e evolução e da sua participação na configuração da paisagem.

Concomitantemente as proposições conceituais, diferentes abordagens e metodologias passaram a ser propostas para obtenção de recursos interpretativos da geodiversidade, avaliando seus valores, abordando estratégias para sua geoconservação e buscando definir as variáveis e métricas imprescindíveis para analisá-la quantitativamente.

Hjort *et al.* (2024) apontam que informações sobre a geodiversidade são necessárias para conservar a natureza, utilizar serviços sistêmicos e alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015). No entanto, apontam a necessidade de métodos voltados à categorização, mapeamento e quantificação da geodiversidade para atender diferentes regiões e ambientes, adotando níveis analíticos e escalas adequados.

Atualmente, os estudos preocupados com a quantificação do meio abiótico, apoiando-se em técnicas estatísticas e de geoprocessamento, vêm viabilizando a aplicação de procedimentos metodológicos expressivos, considerando medidas para estabelecimento de índices representativos da redução ou ampliação da geodiversidade, da correlação entre a geodiversidade e a biodiversidade e de sua aplicação no planejamento e gestão territorial.

Abordagens que sempre se destacam no referenciamento da avaliação quantitativa do meio abiótico podem ser encontradas em Kozłowski (2004), na avaliação da geodiversidade e sua correlação com outros componentes da paisagem; Serrano e Ruiz-Flano (2007), na proposição de um índice baseado na rugosidade do terreno; Benito-Calvo *et al.*, (2009), na avaliação da geodiversidade conforme zonas geodinâmicas; Hjort e Luoto (2010), na quantificação da geodiversidade a partir de sobreposição de grades regulares; Zwoliński (2009), na adoção de parâmetros geomorfológicos para quantificação do meio abiótico; e Pereira *et al.*, (2013), na mensuração da riqueza de classes abióticas em grades estruturadas por células quadráticas.

Para exemplificar o contexto das publicações mais recentes, inicia-se com o estudo de Forte *et al.*, (2018), que realizaram avaliação quantitativa da geodiversidade a partir do método de densidade de Kernel. Nesta pesquisa, os autores analisaram duas regiões com contraste de

geodiversidade (Bahia, Brasil e Mafra, Portugal) e, como resultado, apontaram que a geologia e geomorfologia são os principais componentes que controlam os padrões de geodiversidade. Os autores consideram que essa metodologia é uma atualização do sistema de sobreposição de grades, podendo ser aplicável em regiões com diferentes configurações geológicas e diferentes escalas.

Enfatizando parâmetros geomorfométricos, Silva, Santos e Oka-Fiori (2019) quantificaram a geodiversidade do Setor Norte da APA da Serra da Esperança (PR). Em ambiente SIG e com base na submissão de diferentes atributos topográficos ao Índice de Diversidade de Shannon (Shannon, 1948), empregaram álgebra de mapas e análise de correlação espacial para identificar as variáveis imprescindíveis para elaboração de um índice geomorfométrico – base importante na composição de índice geomorfológico da área de estudo.

Considerando uma escala regional, Carrión-Mero *et al.* (2022), realizaram a quantificação da geodiversidade levando em consideração índices parciais (Ocorrências Litológica, Geomorfológica, Paleontológica, Pedológica e Mineral) presentes no Equador. Dessa forma, fundamentados em Pereira *et al.* (2013), consideraram a utilização de grades de células quadráticas de 25 x 25 km, categorizadas em cinco classes (*Muito baixa, Baixa, Média, Alta e Muito alta.*), com o objetivo de identificar novas áreas de interesse locais e apontar a correlação de dados obtidos com projetos já ativos de geoparques e geopatrimônios proeminentes.

Crisp *et al.* (2022), em estudo recente, analisaram a inclusão da geodiversidade na avaliação da biodiversidade a partir de uma adaptação da metodologia proposta por Crisp, Ellison e Fischer (2021). Nessa abordagem, foram analisadas 240 publicações de avaliação da biodiversidade, consultadas no Scopus, Web of Science e Google Scholar entre os anos 2000 e 2021. Como resultado verificaram que os artigos, em sua maioria, utilizam terminologias relevantes correlatas à variabilidade abiótica, mas avaliaram a ausência do termo 'geodiversidade' nos artigos analisados. Por outro lado, os autores defendem que abordagens combinadas de biodiversidade e geodiversidade poderiam contribuir e otimizar com as iniciativas para conservação dos recursos naturais.

No contexto do Planalto Tibetano, Rong *et al.* (2023), com intuito de identificar padrões de geodiversidade, analisaram seis “geogrupos”: hidrologia, pedologia, relevo, elevação, geologia e geossítios, a partir da utilização de grades de 50 km x 50 km. Como produto desse trabalho, reconheceram áreas com elevada concentração de geodiversidade, as quais coincidem com destinos turísticos reconhecidos pela Unesco e os Geoparques Globais e, em contrapartida, áreas com baixa concentração de geodiversidade, principalmente presentes na região Sul do Tibete.

Em uma abrangência nacional, Silva *et al.* (2021), visando explicar a distribuição dos elementos da geodiversidade (geologia, geomorfologia e pedologia) e objetivando a preservação das unidades de conservação brasileiras, utilizando ferramentas SIG (QGIS 2.18, PostGIS e SQL ((*Structured Query Language*))), geraram um mapa de índice de geodiversidade na escala de 1: 1.000.000 subdividido em 5 classes (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) representando áreas com maior e menor densidade dos elementos selecionados e correlacionando-os com áreas onde projetos de geoparques estão sendo desenvolvidos.

Buscando uma metodologia baseada na análise de multicritério, Najwer *et al.* (2022) avaliaram a geodiversidade existente em três parques localizados na Polônia, onde se destacam três tipos distintos de paisagens: planície, planalto e montanha. Para a avaliação da geodiversidade, os autores seguiram o método quantitativo-qualitativo combinado com o uso da ferramenta *Crowdsourcing* e análise de especialistas. Como objetivo, cada parque foi mapeado e categorizado de acordo com cinco classes de geodiversidade: Muito Alta (5), Alta (4), Média (3), Baixa (2) e Muito Baixa (1), com cada um dividido em três mapas: A – mapa

de geodiversidade com base em especialistas, B – mapa de geodiversidade de *Crowdsourcing* WLC (combinação linear ponderada) e C – mapa de geodiversidade de origem coletiva L-WLC (combinação linear ponderada local).

Lopes *et al.* (2023), também em escala nacional, analisaram a influência do tamanho de célula na quantificação da geodiversidade de Portugal. Como metodologia, os autores propuseram a interpretação de dados de riqueza, diversidade e equitabilidade (Simpson e Shannon) de litologia (1:1.000.000) e geomorfologia (1:500.000), em grades de células hexagonais (1 km, 2 km, 5 km, 10 km, 15 km, 20 km, 25 km e 30 km), categorizando cada mapa em cinco classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta), em ambiente SIG, a partir da utilização dos softwares QGIS 3.16 e Andad 7.12 (CVRM/IST). Nesse estudo, as dimensões das células foram ponderadas levando em consideração fatores de correlação de Spearman e Pearson, identificando como tamanho ideal as células de 5 km e 10 km.

Considerando a Europa como área de estudo para contextualização da geodiversidade em escala continental, Wolniewicz (2023), baseado em estudos anteriores de mesoescala e microescala, verificou a correlação de dados já existentes e a identificação de possíveis lacunas. Com isso, em ambiente SIG e a partir da utilização de ferramentas analíticas espaciais e álgebra de mapas, examinaram a geodiversidade segundo seis mapas de diversidade (geomorfológica, geológica, hidrológica, hidrogeológica, pedológica e topográfica) compilados à métodos de análise de densidade Kernel. Apontaram, dessa forma, a necessidade de um contexto espacial mais amplo para melhor compreender e realizar a avaliação dos componentes abióticos da natureza.

Igualmente preocupados com os dados espaciais representativos da geodiversidade, Schrodtt *et al.* (2024) buscaram contribuir com a identificação das variáveis espaciais essenciais para quantificação, buscando avanços na padronização de medições, vinculação de bancos de dados heterogêneos e organização de fluxos de trabalhos computacionais e acessíveis para mapeamentos digitais globais, com base em técnicas de aprendizado de máquinas.

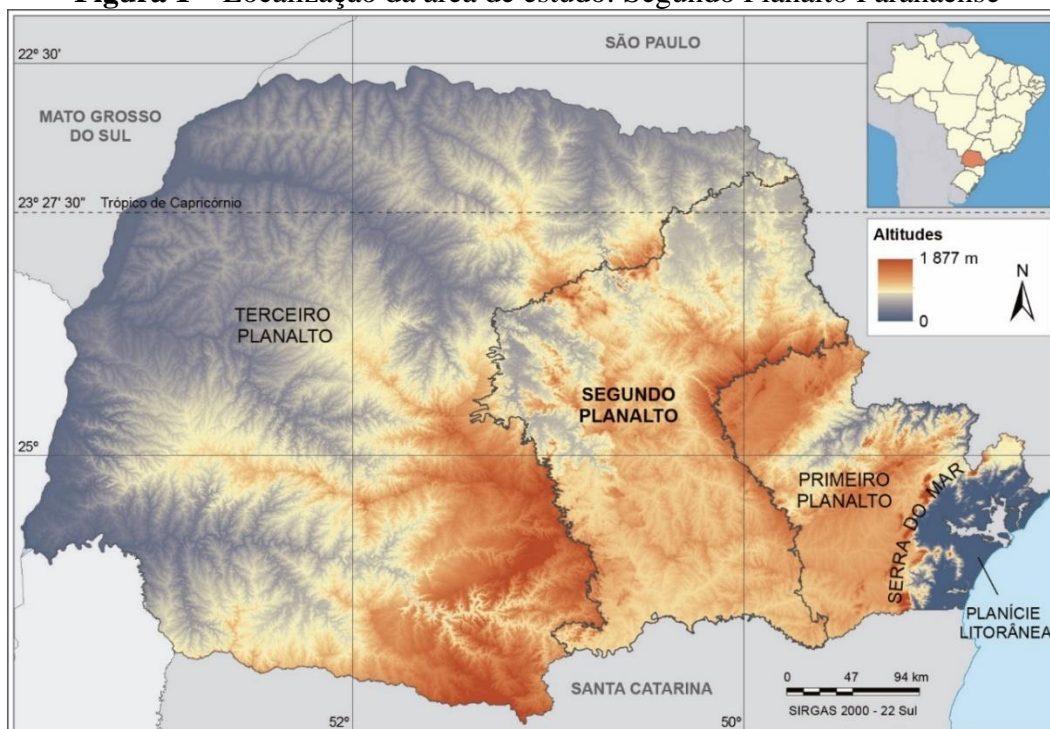
Silva, Silva e Manosso (2024) avaliaram a geodiversidade da Amazônia em território brasileiro a partir de diferentes métodos e grades de quantificação com células de formatos e tamanhos distintos, buscando comparar a expressão espacial dos índices gerados. Destacando a necessidade de ampliar os tipos de métricas para quantificação do meio abiótico, os autores indicam que o Índice de Diversidade de Shannon (Shannon, 1949), possui amplo potencial para mensurar adequadamente, a riqueza e equabilidade de classes de geodiversidade.

Com base no exposto, pode-se considerar que as iniciativas iniciais para quantificação da geodiversidade viabilizaram o surgimento de um número considerável de proposições metodológicas, que podem ser examinadas a partir das publicações recentes supracitadas para exemplificar seu “estado da arte” atual.

No presente artigo, igualmente direcionando-se a quantificação do meio abiótico e tendo o Segundo Planalto Paranaense como recorte espacial, o objetivo foi avaliar e comparar os padrões espaciais de índices de geodiversidade derivados de grades de quantificação formadas por células quadráticas de duas dimensões (25 x 25 km e 12,5 x 12,5 km), buscando a definição daquela mais compatível a escala cartográfica das variáveis abióticas adotadas.

O Segundo Planalto Paranaense (Figura 1) está inserido na Bacia Sedimentar do Paraná e é definido como uma das unidades de paisagem naturais definidas por Maack (2012), cuja morfogênese e morfografia é associada a rochas sedimentares paleozoicas e rochas intrusivas mesozoicas. Seus limites são a Escarpa Devoniana, na transição com o Primeiro Planalto Paranaense, à leste; e a Escarpa Arenítico-basáltica ou Triássico-Jurássica, na transição com o Terceiro Planalto Paranaense, à oeste (Santos *et al.*, 2006).

**Figura 1** – Localização da área de estudo: Segundo Planalto Paranaense



**Fonte:** Os autores (2022), com base em MINEROPAR (2007); IBGE (2020) e IAT (2022).

A partir de técnicas de geoprocessamento, a avaliação se baseou na submissão de variáveis abióticas ao *Índice de Diversidade de Shannon* para análise da diversidade geológica, geomorfológica, pedológica e hidrográfica (índices parciais); e da associação entre elas, mediante álgebra de mapas, para estabelecimento de um *Índice de Geodiversidade Integral* para cada configuração de grade de mensuração.

Apesar de a interpretação dos resultados estar vinculada às características da área de estudo, vislumbra-se a sistematização de procedimentos que possam ser replicados ou adaptados para outras áreas geográficas de interesse.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Bases cartográficas

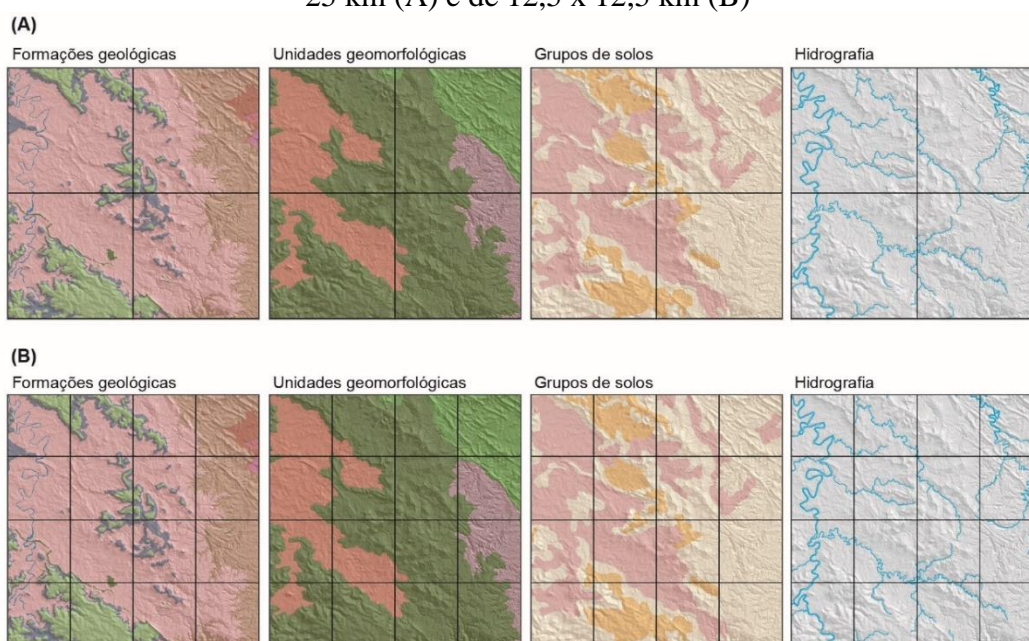
Como o trabalho possui abordagem metodológica considera-se que o reconhecimento prévio da área de estudo, especialmente a partir de bases cartográficas digitais, é integrante dos procedimentos metodológicos adotados, e sua caracterização possui duas funções: 1) detalhamento dos critérios escolhidos para seleção das variáveis abióticas adotadas; e 2) fornecimento de recursos interpretativos para entendimento das razões da geodiversidade reduzida ou ampliada, vinculando-se aos tópicos de apresentação e discussão dos resultados.

As bases cartográficas em meio digital se referem à dados espaciais (formato *shapefile*), na escala de 1: 250.000, das variáveis abióticas selecionadas para o estudo, as quais foram processadas por meio de ferramentas dos softwares dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS 10.8® e QGIS 3. Se referem a: 1) Formações Geológicas (MINEROPAR, 2001); 2) Unidades Geomorfológicas (Santos *et al.*, 2006; MINEROPAR, 2007); Grupos de Solos (EMBRAPA, 1984; Bhering *et al.*, 2009) e Hidrografia (IAT, 2022); todas compatibilizadas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, no Fuso 22 Sul (SIRGAS 22 S).

## Índices de Geodiversidade Parciais

As bases para quantificação da geodiversidade são células quadráticas regulares que formam grades que recobrem toda a área de estudo, com os padrões espaciais de distribuição sendo definidos pela dimensão que tais células possuem. Sendo assim, visando uma análise comparativa, foram definidos dois tamanhos: 25 x 25 km e 12,5 x 12,5 km (Figura 2), as quais foram replicadas para cada variável abiótica escolhida, formando os Índices Parciais de Geodiversidade: Índice de Diversidade Geológica (IDGeo), Índice de Diversidade Geomorfológica (IDGeom), Índice de Diversidade Pedológica (IDPed) e Índice de Diversidade Hidrográfica (IDHidro).

**Figura 2** – Sobreposição de grades de quantificação nas variáveis abióticas: células de 25 x 25 km (A) e de 12,5 x 12,5 km (B)



**Fonte:** Os autores (2023).

Nos locais com maior heterogeneidade abiótica, considerando as diferenças entre os tamanhos de células, há maior proximidade espacial entre classes distintas, repercutindo em valores de geodiversidade mais elevados; enquanto nos locais mais homogêneos, menos classes abióticas distintas são mensuradas devido o maior distanciamento entre elas, derivando-se em menores valores de geodiversidade.

Os Índices de Geodiversidade Parciais (IGPs) foram obtidos a partir do “Índice de Diversidade de Shannon” (Shannon, 1948), mediante ao emprego das ferramentas do complemento *Landscape Ecology and Statistics* (LecoS) do QGIS 3.28, registrando os valores em tabelas de atributos (.DBF – *Data Base File*) das grades de quantificação.

O Índice de Diversidade de Shannon (SHDI) mensura o número de classes de geodiversidade e a proporção em área de cada célula:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^s p_i = \frac{n_i}{N} * \ln p_i$$

Onde:  $n_i$  refere-se à quantidade de classes,  $N$  o número total de classes (Riqueza) e  $p_i$  à proporção delas (Equabilidade) em relação às células, expressa em Logaritmo Natural ( $Ln$ ).

A categorização dos valores de geodiversidade em formato *raster* foi realizada por intermédio do método de Quebras Naturais – *Jenks Natural Breaks Optimization* (Jenks, 1967), possibilitando a definição de cinco classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta.

A avaliação dos índices parciais se pautou na interpretação dos padrões espaciais das cinco classes de geodiversidade em consonância aos atributos abióticos de cada variável e considerando sua proporcionalidade na área de estudo.

## Índices de Geodiversidade Integrados

Os Índices de Geodiversidade Integrados (IGIs), obtidos nos dois tamanhos de células regulares (25 x 25 km e 12,5 x 12,5 km), se basearam na integração dos índices parciais mediante a técnica de *Tabulação Cruzada* (Clementini, Di Felice & Oosterom, 1993), visando a definição de relacionamentos topológicos entre as classes de diversidade ocorridas em uma mesma célula de quantificação, amparando-se na ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS 10.8<sup>®</sup>, considerando média aritmética simples:

$$IGI = \frac{IDGeo + IDgeom + IDPed + IDHidro}{4}$$

Os mapas finais foram elaborados no ArcGIS 10.8<sup>®</sup>, se referindo aos índices parciais, resultantes das grades individuais estruturadas em células quadráticas de tamanhos distintos; e aos índices integrados, resultantes da tabulação cruzada por média aritmética simples entre os índices parciais. Nesta fase, foram adotados os critérios cartográficos básicos (escala, sistema de referência e orientação) e variáveis visuais (cores ordenadas) para representação espacial das classes de geodiversidade.

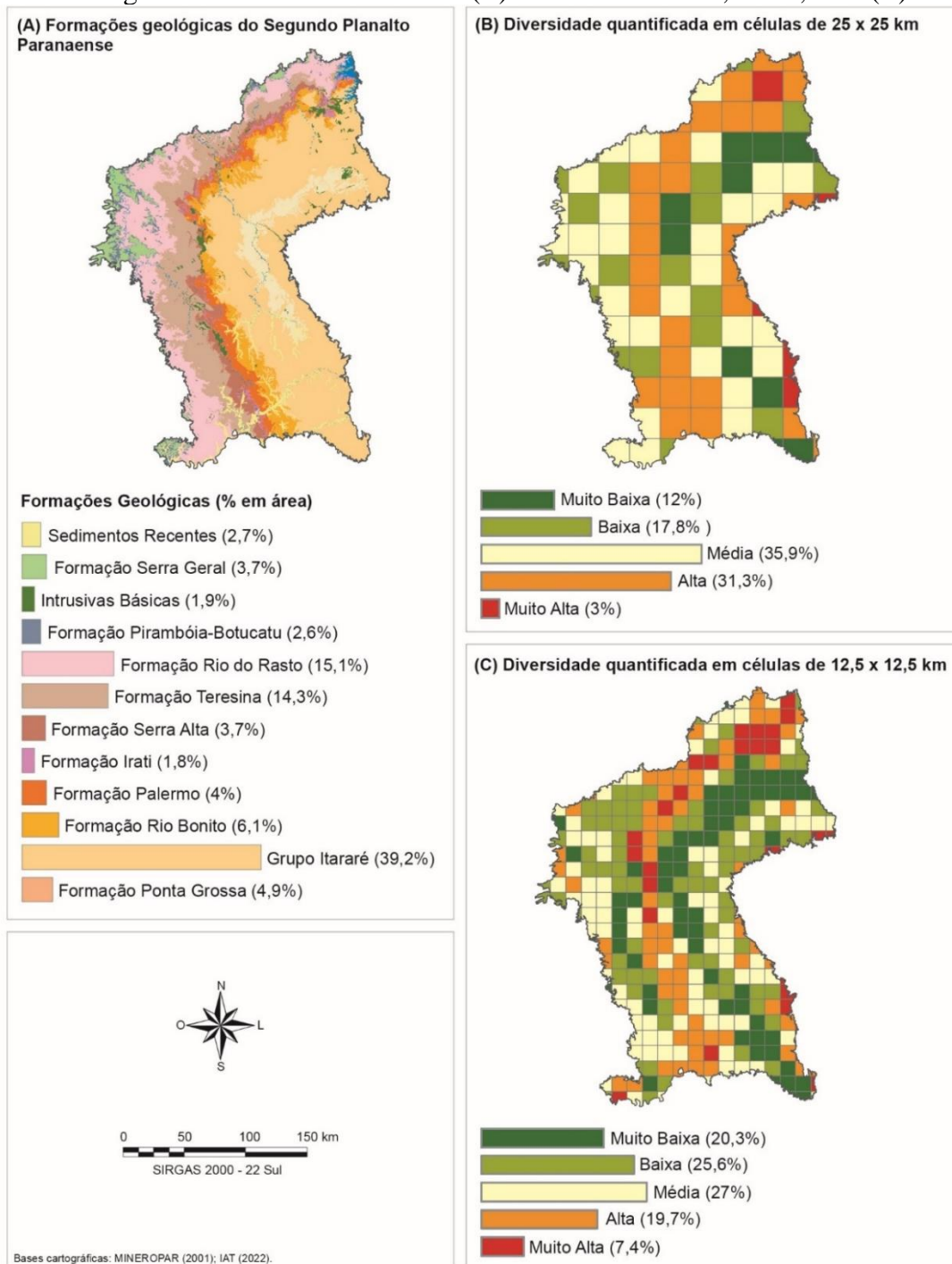
## RESULTADOS

### Índice de Diversidade Geológica

Conforme as referências adotadas (MINEROPAR, 2001 e Maack, 2012), em seus aspectos geológicos, o Segundo Planalto Paranaense apresenta distintas formações sedimentares paleozoicas, formadas em ambientes marinhos e litorâneos, que se interdigitam no seu limite oeste com as rochas ígneas e sedimentares mesozoicas que configuram o Grupo São Bento. Possui grande incidência de rochas intrusivas básicas mesozoicas, na forma de diques e soleiras de diabásio, que são bem evidenciados na paisagem pela influência que exercem na incidência da drenagem e nos processos de dissecação do relevo. Os sedimentos recentes, na escala cartográfica disponível, são evidenciados no entorno de cursos hídricos de maior dimensão, principalmente os rios Itararé, Ivaí, Tibagi e Iguaçu.

A distribuição e proporção das formações geológicas da área de estudo é ilustrada pela Figura 3A, com grande destaque para as que compõe o Grupo Itararé, cuja homogeneidade, em relação as demais formações, é confirmada pelo resultado da sua submissão ao índice de *Shannon*, o que pode ser constatado tanto na grade estruturada por células de 25 x 25 km (Figura 3B) quanto na de 12,5 x 12,5 km (Figura 3C), onde as classes de diversidade *Muito Baixa* e *Baixa* se destacam.

**Figura 3** – Formações geológicas do Segundo Planalto Paranaense (A); Índice de Diversidade Geológica em células de 25 x 25 km (B) e em células de 12,5 x 12,5 km (C).



**Fonte:** Os autores (2023).

As classes de diversidade geológica *Muito Baixa* e *Baixa* possuem área mais expressivas no índice formado por células de 12,5 x 12,5 km, embora apresentem a mesma tendência de configuração espacial, com evidente influência da uniformidade cartográfica do Grupo Itararé.

Em ambos os tamanhos de células a classe de diversidade *Média* é predominante, e sua distribuição espacial ocorre nos mesmos setores, o que também acontece com a classe de



diversidade *Alta*, embora esta tenha maior proporção em área na grade formada pelas células de maior dimensão (25 x 25 km).

A classe de diversidade *Muito Alta*, que expressa a maior diversidade geológica possível é restrita na grade de células com 25 x 25 km, aparecendo isoladamente em uma célula ao norte e em fragmentos de células recortadas no limite leste do Segundo Planalto. Por outro lado, na grade de células com 12,5 x 12,5 km, embora ocupe 7,4% da área total, esta classe aparece mais bem distribuída, sendo possível verificar correlação com o Arco de Ponta Grossa (MINEROPAR, 2001), onde a distância entre formações distintas é menor, o que repercute em maior heterogeneidade de riqueza e equabilidade geológica.

## Índice de Geomorfodiversidade

O Segundo Planalto Paranaense se refere a uma das unidades fisiográficas definidas por Maack (2012), que foram reconsideradas por Santos *et al.*, (2006) como Unidades Morfoesculturais, por sua vez, subdivididas em um conjunto de Subunidades Morfoesculturais para definição de um nível taxonômico mais detalhado das suas formas de relevo, caracterizando colinas em diferentes níveis de dissecação, morros baixos e cristas alongadas, que nas suas heterogeneidades compõem dezessete compartimentos (Figura 4A).

O relevo predominantemente colinoso possui expressão espacial mais evidente no Planalto de Ponta Grossa (37,1% da área total), demonstrando a influência das formações sedimentares paleozoicas. Por outro lado, o controle estrutural exercido por rochas intrusivas, fraturas e diques e soleiras de diabásio, (mesozoicas), bem como a incidência das drenagens, repercute em maior diversidade geomorfológica, mais evidentemente, nos seus limites leste, onde forma a Escarpa Devoniana; e no seu limite oeste, onde recebe influência da Escarpa da Esperança, caracterizada pelo relevo intertrapeano resultante da intercalação ígneo-arenítica, que demarca a transição com o Terceiro Planalto Paranaense.

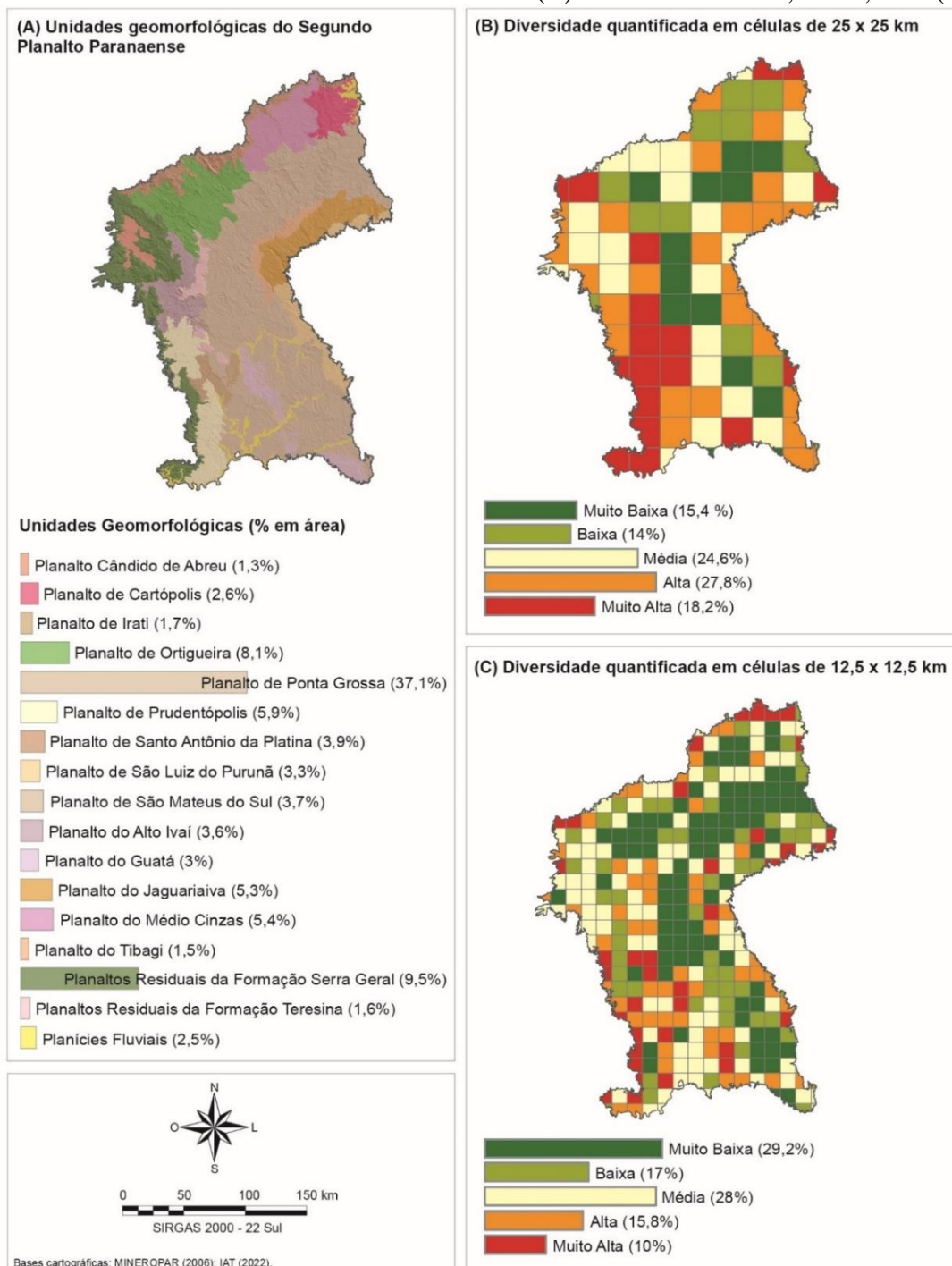
A dimensão e configuração espacial das subunidades morfoesculturais repercute nos núcleos de geomorfodiversidade, embora se constatem diferenças significativas quando se compara o índice resultante de células de 25 x 25 km (Figura 4B), com as de 12,5 x 12,5 km (Figura 4C).

As células que quantificaram os valores de geomorfodiversidade reduzida (*Muito Baixa* e *Baixa*), considerando as duas dimensões testadas, apresentaram diferenças em porcentagem de área ocupada, mas ambas possuem expressão espacial correlacionada às subunidades morfoesculturais de maior dimensão, onde uma quantidade restrita de classes foi passível à mensuração pelo Índice de *Shannon*, principalmente devido a configuração espacial do Planalto de Ponta Grossa.

Na classe de diversidade *Média*, as células de quantificação com 25 x 25 km e 12,5 x 12,5 km apresentam similaridade espacial e em proporção de área ocupada, e são condizentes à borda das subunidades morfoesculturais de maior dimensão, onde foi possível mensurar heterogeneidade intermediária de compartimentos geomorfológicos.

Nas bordas leste e, principalmente, oeste do Segundo Planalto Paranaense há uma maior diversidade de compartimentos de relevo, pois há influência mais significativa de lineamentos estruturais e da incidência de drenagens, conforme mencionado anteriormente. De fato, tal heterogeneidade, repercute nas células de quantificação nas medidas de riqueza e equabilidade de classes pelo Índice de *Shannon*, e é justamente nestes setores que as classes de geomorfodiversidade mais elevadas (*Alta* e *Muito Alta*) apresentam expressão espacial mais significativa, embora sua proporção apresente diferenças consideráveis, com menor área ocupada no índice estruturado pelas células de menor dimensão.

**Figura 4** – Unidades geomorfológicas do Segundo Planalto Paranaense (A); Índice de Geomorfodiversidade em células de 25 x 25 km (B) e em células de 12,5 x 12,5 km (C).



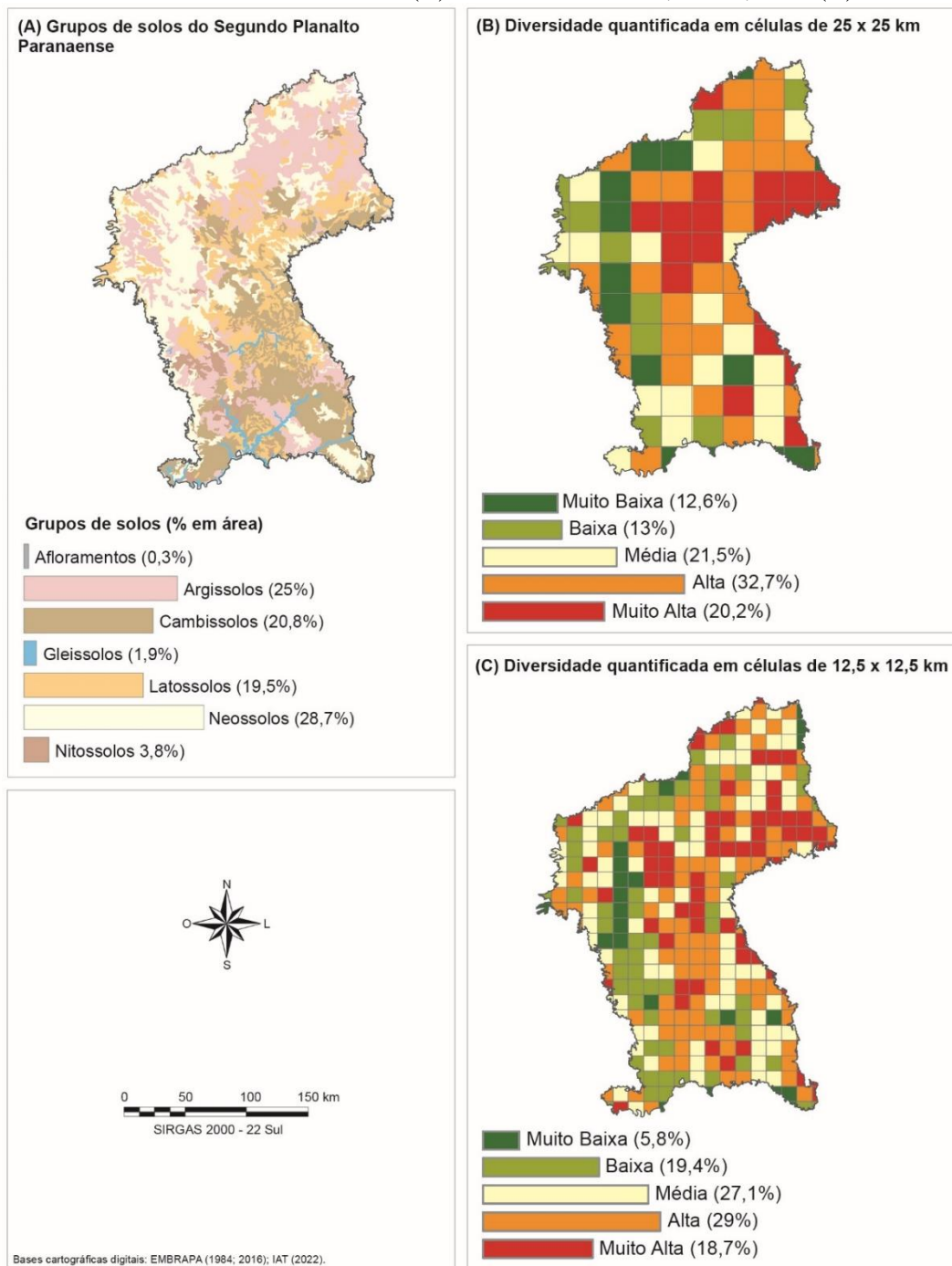
Fonte: Os autores (2023).

## Índice de Pedodiversidade

Considerando as classes do primeiro nível categórico, na escala 1: 250.000, os solos do Segundo Planalto Paranaense estão agrupados em: *Argissolos* (25%), *Cambissolos* (20,8%), *Gleissolos* (1,9%), *Latossolos* (19,5%), *Neossolos* (28,7%) e *Nitossolos* (3,8%); além dos *Afloramentos Rochosos*, que representam apenas 0,3% do total da área.

Na observação dos seus padrões espaciais (Figura 5A) fica evidente o predomínio dos *Neossolos* e *Argissolos*, que conjuntamente correspondem a mais de 50% da área total. Os *Cambissolos* e *Latosolos* também possuem expressão espacial significativa, enquanto os *Nitossolos* e *Gleissolos* possuem representação restrita, assim como a classe que agrupa os *Afloramentos Rochosos*. Após serem submetidos ao Índice de Diversidade de *Shannon*, os solos passaram a ser representados conforme valores de riqueza e equabilidade de classes, dentro das células quadráticas de 25 x 25 km (Figura 5B) e de 12,5 x 12,5 km (Figura 5C).

**Figura 5** – Grupos de solos do Segundo Planalto Paranaense (A); Índice de Pedodiversidade em células de 25 x 25 km (B) e em células de 12,5 x 12,5 km (C).



Fonte: Os autores (2023).

Os dados obtidos, considerando uma comparação entre as grades com células de tamanhos distintos, demonstram a similaridade gráfica em proporção que cada classe de diversidade ocupa em relação à área total, mais evidentemente nas de pedodiversidade *Alta* e *Muito Alta*. As classes de diversidade *Média*, nos dois índices, também apresentam relativa aproximação em termos de área total abrangida. As classes *Muito Baixa* e *Baixa* exibiram, por outro lado, leve discrepância em proporcionalidade em relação às demais.

Apesar da proporção das classes não destoarem significativamente entre as células de dimensões distintas, a seguinte relação pode ser reiterada: quanto maior a célula de quantificação, maiores valores de diversidade serão a ela atribuídos, repercutindo em moderada ampliação de área ocupada pelas classes *Alta* e *Muito Alta*.

Por outro lado, ainda considerando a influência do tamanho das células de mensuração, se verificou uma relação inversa nas classes de diversidade pedológica *Baixa* e *Média*, já que ambas obtiveram maior proporção em área nas células com dimensões de 12,5 x 12,5 km.

Em relação aos padrões espaciais, nas duas classificações de diversidade pedológica (células com 25 x 25 km e com 12,5 x 12,5 km), nota-se o predomínio das classes mais elevadas de diversidade nas porções central e nordeste da área de estudo; enquanto as classes de diversidade reduzida são observadas de maneira mais evidente em toda porção oeste.

### Índice de Hidrodiversidade

Denotando um sistema hidrográfico mais abrangente, todos os cursos hídricos que percorrem o Segundo Planalto Paranaense fazem parte da Bacia do Rio Paraná, estando integrados, regionalmente, às bacias do Rio Iguaçu, ao sul; Rio Itararé, Rio das Cinzas e Rio Tibagi, ao norte; e Rio Ivaí, a noroeste.

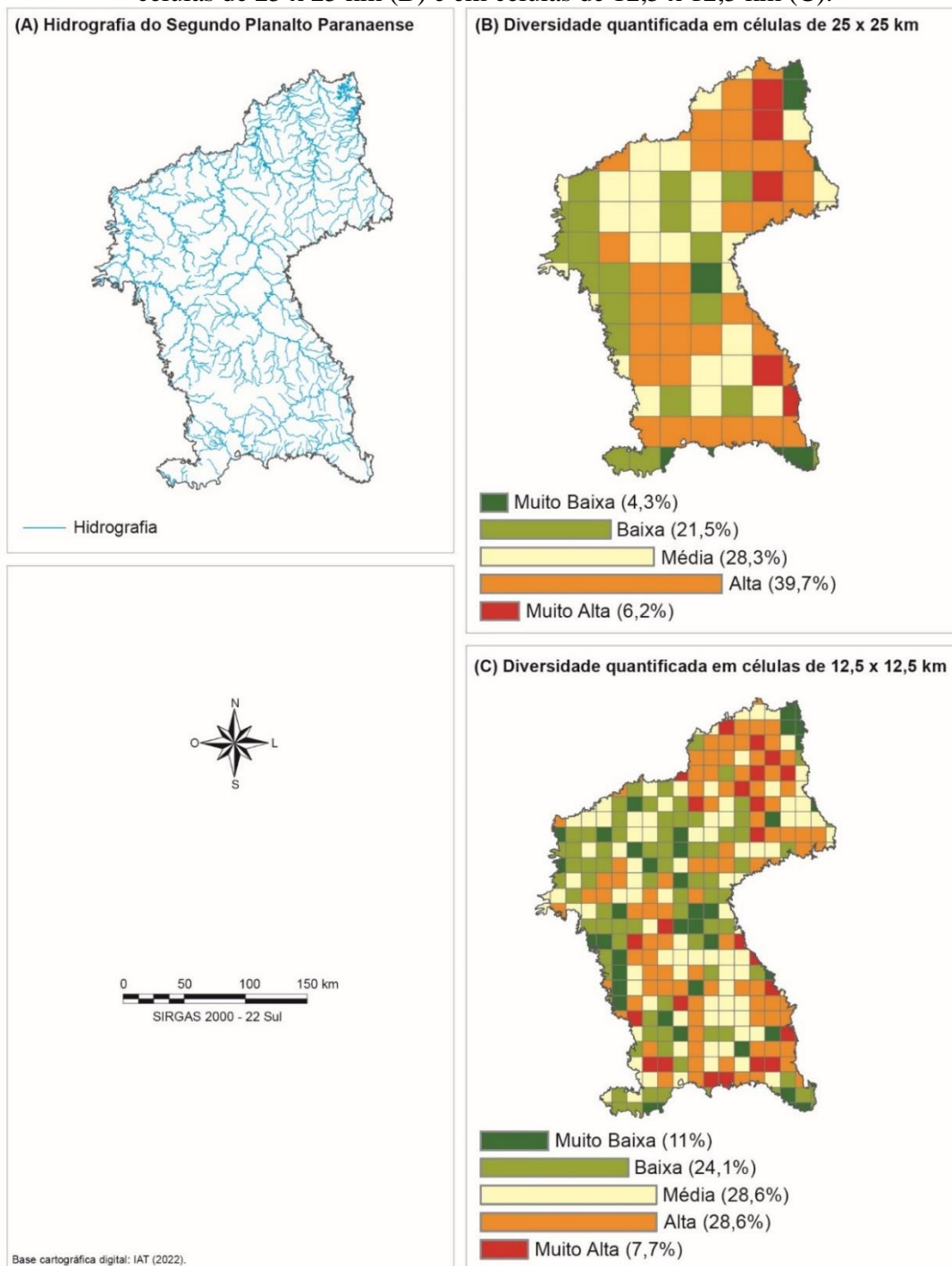
A hidrografia possui correlação direta aos aspectos geológicos e geomorfológicos da área de estudo, sendo induzida e induzindo, de maneira sistêmica, os fatores responsáveis pela ampliação ou redução da geodiversidade.

O Índice de Hidrodiversidade, derivado das medidas de riqueza e equabilidade hidrográfica na escala 1: 250.000, consideraram a densidade de drenagem no interior de cada célula quadrática de 25 x 25 km (Figura 6B) e de 12,5 x 12,5 km (Figura 6C), que estruturaram a quantificação pelo Índice de *Shannon*.

Nos dois índices de hidrodiversidade, o comportamento gráfico das proporções de classes, bem como os padrões espaciais delas, foram similares. As classes que representam a diversidade reduzida (*Muito Baixa*) e ampliada (*Muito Alta*) são pouco significativas em recobrimento de área quando comparadas as demais classes.

Também representando diversidade reduzida ou ampliada, as classes *Baixa* e *Alta* possuem expressão espacial mais relevante, especialmente esta última, que é predominante nos dois índices. A classe de hidrodiversidade *Média*, por sua vez, possui equivalência em área e configuração espacial quando os dois índices são comparados, com melhor delineamento, entretanto, naquele derivado de células com dimensões de 12,5 x 12,5 km.

**Figura 6** – Hidrografia do Segundo Planalto Paranaense (A); Índice de Hidrodiversidade em células de 25 x 25 km (B) e em células de 12,5 x 12,5 km (C).

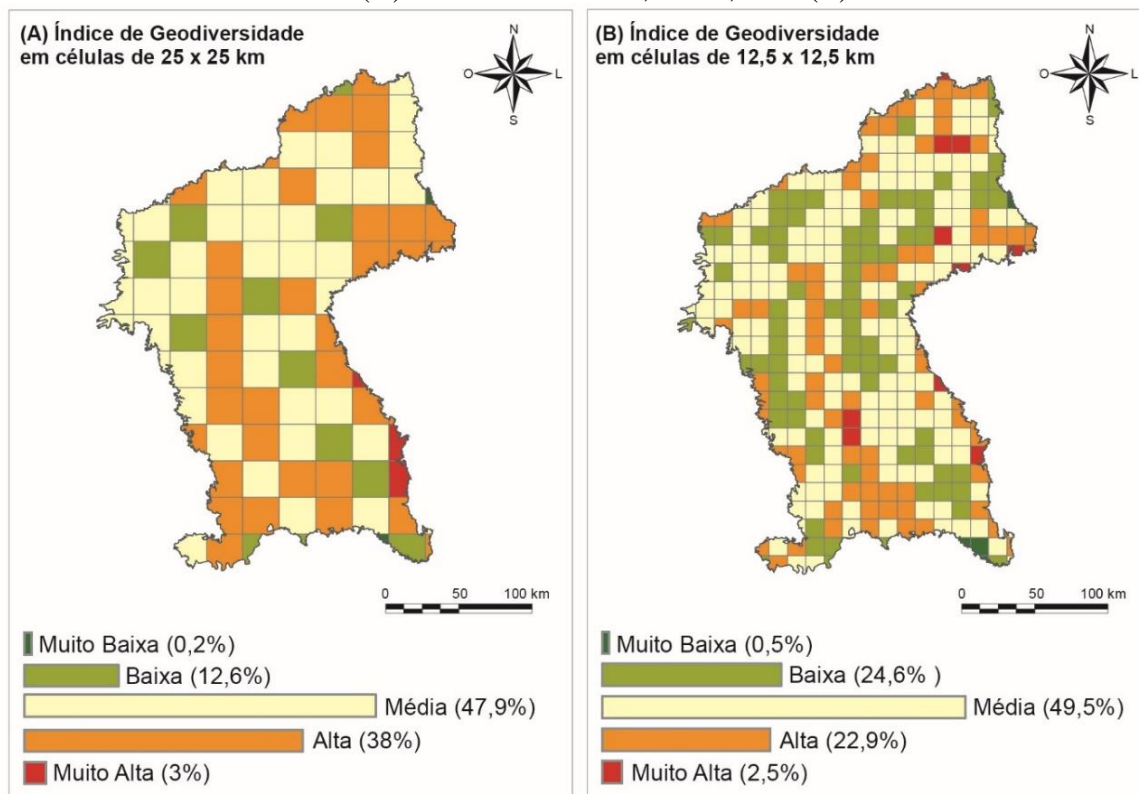


Fonte: Os autores (2023).

## Índices de Geodiversidade Integrados

Conforme mencionado, os índices de geodiversidade foram resultantes da tabulação cruzada dos índices parciais, considerando a seriação compatível às grades estruturadas por células nas dimensões de 25 x 25 km (Figura 7A) e de 12,5 x 12,5 km (Figura 7B).

**Figura 7** – Índice de Geodiversidade do Segundo Planalto Paranaense em células de 25 x 25 km (A) e em células de 12,5 x 12,5 km (B)



**Fonte:** Os autores (2023).

Quando utilizado o método de sobreposição de grade, o índice de geodiversidade representa a associação espacial dos índices temáticos parciais, calculados em uma seriação normativa com valores que variam de 0 a 5, possibilitando, dessa forma, uma análise comparativa de variáveis atribuídas pelo mesmo valor. O emprego da tabulação cruzada entre os índices parciais, após reclassificação, resultou na categorização de cinco classes de intervalos iguais de geodiversidade: *Muito baixa*, *Baixa*, *Média*, *Alta* e *Muito Alta*.

Considerando a utilização de células quadráticas de tamanhos distintos, foi possível constatar, inicialmente, certa similaridade gráfica em relação à proporção que cada classe ocupa, tendo em vista a área total de estudo, mais evidentemente nas classes *Muito baixa*, *Média* e *Muito Alta*. Uma avaliação mais minuciosa, entretanto, indicou variações importantes em relação à proporção que cada classe ocupa, sendo admitida a influência das grades formadas por células de tamanhos distintos que estruturaram os dois índices, mais notadamente entre as classes de geodiversidade *Baixa* e *Alta*.

As classes que expressam os menores valores de geodiversidade (*Muito Baixa*) apresentam restrita representatividade espacial, tanto no índice baseado em células de 25 x 25 km (0,2%) quanto no de 12,5 x 12,5 km (0,5% da área total). Esta representatividade reduzida também ocorre com as classes que denotam maiores valores de geodiversidade (*Muito Alta*), ocupando 3% de área no índice derivado de células maiores e 2,5% no formado por células de quantificação menores.

A classe de *Baixa* geodiversidade possui expressão espacial mais relevante no índice obtido por células de 12,5 x 12,5 km, ocupando 24,6% da área, enquanto naquele obtido por células de 25 x 25 km ocupa 12,6% da área total.

A classe de geodiversidade *Alta* é relevante em área ocupada nos dois índices, mais notadamente no formado por células de maior dimensão, ocupando 38% do recorte espacial adotado; enquanto no índice formado por células de menor dimensão, a mesma classe ocupa 22% da área total.

Indicando a influência dos valores médios proporcionados pela tabulação cruzada entre os índices parciais, a maior representação espacial foi atribuída a geodiversidade *Média*, que ocupa quase a metade da área nos dois índices finais: 47,9%, no gerado a partir de células de 25 x 25 km; e 49,5%, no derivado de células de 12,5 x 12,5 km.

Em relação ao padrão espacial dos núcleos de geodiversidade, pode-se considerar que as diferenças entre ambos os índices não são demasiadamente elevadas, embora, visualmente, é aceitável ponderar a maior eficiência das células de 12,5 x 12,5 km no registro das distintas variáveis abióticas, pois proporcionou maior continuidade espacial entre células com valor de geodiversidade congêneres, principalmente nas que exprimem os maiores valores (*Alta* e *Muito Alta*) das medidas de riqueza e equabilidade proporcionadas pelo Índice de *Shannon*.

## DISCUSSÕES

Os resultados obtidos oferecem uma perspectiva sobre a geodiversidade do Segundo Planalto Paranaense, analisando diversos índices que evidenciam sua complexidade e heterogeneidade em aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrográficos.

O Índice de Diversidade Geológica revela que a região é dominada por formações do Grupo Itararé, com classes de diversidade Muito Baixa e Baixa sendo predominantes. Essa uniformidade pode ser atribuída à homogeneidade das formações sedimentares paleozoicas predominantes. A caracterização geomorfológica revela uma grande diversidade, especialmente nas bordas do planalto, onde a influência das rochas intrusivas e a configuração da drenagem são mais significativas. A diferenciação entre células de 25 x 25 km e 12,5 x 12,5 km destaca como o tamanho da célula afeta a percepção da diversidade. A análise de pedodiversidade mostra a predominância de Neossolos e Argissolos, com uma representação menor de Gleissolos e Nitossolos. A relação inversa observada nas classes de pedodiversidade Baixa e Média entre os tamanhos de células sugere que a granularidade da análise influencia a percepção da diversidade. O Índice de Hidrodiversidade, por sua vez, enfatiza a interconexão dos sistemas hídricos com os fatores geológicos e geomorfológicos.

A integração dos índices parciais para calcular o Índice de Geodiversidade denota uma distribuição que reflete a complexidade da interação entre os diferentes componentes da geodiversidade. A análise por tabulação cruzada dos índices de geodiversidade revela uma rica complexidade, com a classe de geodiversidade "Média" predominando. A variação dos índices gerados por diferentes tamanhos de células sugere que a utilização de escalas menores permite uma visualização mais detalhada das características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrográficas, facilitando uma compreensão mais ampla da geodiversidade local.

Conforme reforçado na literatura, métodos quantitativos são essenciais para a avaliação da geodiversidade. O Índice de Diversidade de Shannon, por exemplo, demonstrou ser uma ferramenta eficaz para mensurar a riqueza e a equidade das classes abióticas, corroborando as constatações de Silva, Santos e Oka-Fiori (2019) e Silva, Silva e Manosso (2024).

Pode-se considerar, portanto, que estudos preocupados com a geodiversidade quantitativa fornecem importantes mecanismos interpretativos para orientar a aplicação dos índices de geodiversidade no planejamento territorial e em estratégias de geoconservação, sendo imprescindíveis para o entendimento das variações abióticas do meio físico, bem como suas interações com processos ecológicos, onde a geodiversidade atua não apenas como um

elemento passivo, mas como um agente ativo na formação de paisagens e ecossistemas. Estas questões são discutidas por Hjort *et al.*, (2024), que ressaltam que uma compreensão mais aprofundada da geodiversidade é crucial para a conservação e para a consecução dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pôde-se constatar diferenças nos padrões espaciais entre os índices parciais e integrados de geodiversidade, demonstrando a necessidade de que a definição das dimensões das grades de sobreposição seja ajustada conforme a escala das bases cartográficas a serem adotadas e particularidades da área geográfica de interesse.

No caso das características abióticas do Segundo Planalto Paranaense, a grade estruturada por células quadráticas de 12,5 x 12,5 km se mostrou com maior compatibilidade à escala cartográfica das variáveis adotadas (1:250.000). Mesmo nos índices parciais, este menor tamanho de células de sobreposição conseguiu representar de maneira mais concisa os núcleos de geodiversidade ampliada ou reduzida, proporcionando maior refinamento na mensuração entre classes abióticas distintas, não extrapolando exageradamente os limites entre elas.

A repercussão dos índices parciais nos índices integrados, conforme as duas grades utilizadas para sobreposição, se manifesta em diferenças mais significativas nas classes de geodiversidade *Baixa* e *Alta*, no que diz respeito à proporção de área ocupada; e na classe de geodiversidade *Muito Alta*, no que se refere à configuração dos padrões espaciais, com expressão mais significativa na grade estruturada por células de 12,5 x 12,5 km.

Os procedimentos aplicados na presente pesquisa possibilitaram uma compreensão da importância e distribuição da geodiversidade na área em questão, embora tenham sido constatados desafios metodológicos. Esses desafios são recorrentes na literatura sobre o tema, uma vez que a quantificação da geodiversidade envolve questões relacionadas a múltiplas escalas, níveis de generalização, limites das bases de dados, formas de representação cartográfica e operações em SIG para analisar os padrões espaciais dos índices gerados.

Neste sentido, é importante destacar a necessidade de novos testes para quantificação da geodiversidade de maneira mais ampla, considerando mais recursos interpretativos, como: (i) adoção de bases de dados com escalas e taxonomias variadas; (ii) uso de métricas distintas que possam representar espacialmente a diversidade abiótica, além da Riqueza e Equabilidade de classes, proporcionada pelo Índice de Diversidade de Shannon; (iii) testes de algoritmos e operações de análise e correlação espacial distintas para agrupamento de dados, visando comparação com a técnica de Tabulação Cruzada; e (iv) testes de validação estatística para identificar a acurácia e precisão dos índices gerados.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida ao longo do curso de Mestrado; e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (PPGG-UNICENTRO).

## REFERÊNCIAS

BENITO-CALVO, A.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; MAGRI, O.; MEZA, P. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. **Earth Surface Processes and Landforms**, 34(10), 1433-1445, 2009. <https://doi.org/10.1002/esp.1840>



BÉTARD, F.; PEULVAST, J.P. Geodiversity Hotspots: Concept, Method and Cartographic Application for Geoconservation Purposes at a Regional Scale. **Environmental Management**, 63, 822-834, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01168-5>

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G.; BOGNOLA, I.A.; CURCIO, G.R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CHAGAS, C.S.; MANZATTO, C.V.; ÁGLIO, M.L.D.; SILVA, J.S. Mapa de Solos do Estado do Paraná – legenda atualizada. **Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Uberlândia, MG, Brasil, 33. pp.1-4, 2009.

CARRIÓN-MERO, P.; DUEÑAS-TOVAR, J.; JAYA-MONTALVO, M.P.; BERREZUETA, E.; JIMÉNEZ-ORELLANA, N. Geodiversity assessment to regional scale: Ecuador as a case study. **Environmental Science and Policy**, 136, 167-186, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.06.009>

CLEMENTINI, E.; DI FELICE, P.; VAN OOSTEROM, P. A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. **International Symposium on Spatial Data Handling**, Proceedings. Sydney, Australia, 3, pp. 1-20, 1993.

CRISP, J.R.A.; ELLISON, J.C.; FISCHER, A. Current trends and future directions in quantitative geodiversity assessment. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, 45(4), 514-540, 2021. <https://doi.org/10.1177/03091333209672>

CRISP, J.R.A.; ELLISON, J.C.; FISCHER, A.; TAN, J.S.D. Geodiversity inclusiveness in biodiversity assessment. **Progress in Physical Geography**, 47(3), 2022. <https://doi.org/10.1177/03091333221122292>

DIXON, G. **Geoconservation: An International Review and Strategy Significance on Tasmania**. Occasional Paper, 35, Parks & Wildlife Service, Tasmania, 1996.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1984). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA-SNLCS, Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR, Boletim Técnico 16.

FORTE, J.P.; BRILHA, J.; PEREIRA, D.I.; NOLASCO, M. Kernel Density Applied to the Quantitative Assessment of Geodiversity. **Geoheritage**, 10, 205-217, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0282-3>

GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature**. Londres: John Wiley & Sons Ltda, 434 p, 2004.

HJORT, J.; LUOTO, M. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. **Geomorphology**, 115, 109-116, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.039>

HJORT, J.; SEIJMONSBERGEN, A.C.; KEMPPINEN, J.; TUKIAINEN, H.; MALINIEMI, T.; GORDON, J.E.; ALAHUHTA, J.; GRAY, M. Towards a taxonomy of geodiversity. **Philosophical Transactions Royal Society, A** 382, 2024. <https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0060>

IAT – Instituto Água e Terra. (2022). **Mapas e Dados Espaciais**. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>. Acesso em: 3 out. 2022.

JENKS, G.F. **The Data Model Concept in Statistical Mapping**. International Yearbook of Cartography. 7, 186-190, 1967

KOZŁOWSKI, S. **Geodiversity. The concept and scope of geodiversity**. Przegląd Geologiczny. 52, 833-837, 2004.

LOPES, C.; TEIXEIRA, C.; PEREIRA, D.I.; PEREIRA, P. Identifying Optimal Cell Size for Geodiversity Quantitative Assessment with Richness, Diversity and Evenness Indices. **Resources**, 12(65), 2023. <https://doi.org/10.3390/resources12060065>

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 4ª ed. Ponta Grossa: UEPG, 2012.

MANOSSO, F.C.; ZWOLIŃSKI, Z.; NAJWER, A.; BASSO, B.T.; SANTOS, D.S.; PAGLIARINI, M.V. Spatial pattern of geodiversity assessment in the Marrecas River drainage basin, Paraná, Brazil. **Ecological Indicators**, 126, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107703>

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. (2001). **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: MINEROPAR S/A.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. (2007). **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba: MINEROPAR S/A.

NAJWER, N.; JANKOWSKI, P.; NIESTEROWICZ, J.; ZWOLINSKI, Z. Geodiversity assessment with global and local spatial multicriteria analysis. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, 107, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102665>

ONU – Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Nova Iorque: ONU, 2015.

PEREIRA, D.I.; PEREIRA, P.; BRILHA, J.; SANTOS, L. Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): An innovative approach. **Environmental Management**, 52, 541-552, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0100-2>

RONG, T.; XU, S.; LU, Y.; TONG, Y.; YANG, Z. Quantitative Assessment of Spatial Pattern of Geodiversity in the Tibetan Plateau. **Sustainability**, 15(299), 2023. <https://doi.org/10.3390/su15010299>

SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2(7), 03-12, 2006. <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.74>

SANTOS, D.S.; MANSUR, K.L.; GONÇALVES, J.; ARRUDA JÚNIOR, E.R.; MANOSSO, F.C. Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. **Applied Geography**, 85, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.03.009>

SCHRODT, F.; VERNHAM, G.; BAILEY, G.; FIELD, R.; GORDON, J.E.; GRAY, M.; HJORT, J.; HOORN, C.; HUNTER Jr., M.L.; LARWOOD, J.; LAUSCH, A.; MONGE-GANUZAS, M.; MILLER, S.; VAN REE, D.; SEIJMONSBERGEN, A.C.; ZARNETSKE, P.L.; KISSLING, W.D. The status and future of essential geodiversity variables. **Philosophical Transactions Royal Society**, A 382, 2024. <https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0052>

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica – Swiss Journal of Geography*, 3, 140-147, 2007.

SHANNON, C.E. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal* (reprinted), 27(623/656), 379-423, 1948.

SILVA, J.M.F.; SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C. Spatial correlation analysis between topographic parameters for defining the geomorphometric diversity index: application in the environmental protection area of the Serra da Esperança (state of Paraná, Brazil). **Environmental Earth Sciences**, 78, 356, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8357-2>

SILVA, J.; ALVES, G.; ROSS, J.; OLIVEIRA, F.; NASCIMENTO, M.; FELINI, M.; MANOSSO, F.; PEREIRA, D. The Geodiversity of Brazil: Quantification, Distribution, and Implications for Conservation Areas. **Geoheritage**, 13, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00598-0>

SILVA, J.M.F.; SILVA, J.P.; MANOSSO, F.C. Evaluation of geodiversity in the Brazilian Amazon using different quantification methodologies. **Geomorphology**, 466, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109441>

STANLEY, M. Geodiversity. In D. Baretino, W.A.P. Winbledon, & E. Gallego (Orgs.). **Geological heritage: its conservation and management**. Madrid: ITGE, 15-18, 2000.

STEPIŠNIK, U.; TRENCHOVSKA, A. A New Quantitative Model for Comprehensive Geodiversity Evaluation: the Škočjan Caves Regional Park, Slovenia. **Geoheritage**, 10, 39-4, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0216-5>

VERNHAN, G.; BAILEY, J.J.; CHASE, J.M.; HJORT, J.; FIELD, R.; SCHRODT, F. Understanding trait diversity: the role of geodiversity. **Trends in Ecology & Evolution**, 38(8), 736-748, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.02.010>

WILSON, E.O. *Biodiversity*. Washington, DC: National Academy Press, 1988.

WOLNIEWICZ, P. Quantifying Geodiversity at the Continental Scale: Limitations and Prospects. **Resources**. 12(59), 2023. <https://doi.org/10.3390/resources12050059>.

ZWOLINSKI, Z. The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. **Landform Analysis**, 11, 77-85, 2009.