

Geodiversidade e Estrutura da Paisagem: Riqueza Composicional e Fragmentação de Usos e Cobertura do Solo do Geoparque Mundial da Unesco Quarta Colônia (RS/BR)

Geodiversity and Landscape Structure in the Quarta Colônia Unesco Global Geopark, Brazil: Compositional Richness and Land-Use and Land-Cover Fragmentation

Martiele Wilhelm¹

Ariel Felipe Geraldo Zaghetti²

Raquel Weiss³

Palavras-chave

Fragmentação espacial
Métricas abióticas
Autocorrelação espacial bivariada (LISA)
Índice de geodiversidade
Planejamento territorial

Resumo

A geodiversidade pode ser compreendida como a base estrutural das paisagens, desempenhando papel significativo na influência de processos ecológicos e na organização espacial dos usos do solo. Em territórios reconhecidos como geoparques, a análise das relações espaciais entre a heterogeneidade abiótica e a ocupação territorial tende a subsidiar estratégias de gestão territorial. Este artigo objetiva quantificar a consistência estatística interna dos componentes físicos da paisagem e investigar suas associações espaciais com os padrões de uso e cobertura da terra no Geoparque Mundial da UNESCO Quarta Colônia (Rio Grande do Sul, Brasil). A metodologia baseou-se na aplicação de uma grade regular de 2×2 km como unidade espacial, na qual construiu-se um Índice de Geodiversidade a partir da riqueza de classes geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrográficas. Os padrões de ocupação antrópica foram analisados sob dois cenários métricos: a riqueza composicional de classes de uso (arranjos *multipart*) e a fragmentação espacial (arranjos *singlepart*), representada pelo número de manchas. As relações entre as variáveis foram mensuradas por meio da correlação de Spearman e da Autocorrelação Espacial Local Bivariada (LISA). Os resultados indicam expressiva correlação positiva entre os componentes da geodiversidade, especialmente entre geologia, geomorfologia e pedologia, suportando a consistência metodológica do índice. Observa-se que zonas com maior diversidade abiótica tendem a apresentar maior riqueza composicional de usos, enquanto métricas de fragmentação demonstram menor dependência estatística da estrutura físico-natural. A modelagem espacial (LISA) identificou zonas de coocorrência e de contraste estatístico entre a heterogeneidade física e a intensidade de uso. Conclui-se que a integração entre métricas abióticas, princípios de ecologia da paisagem e estatística espacial viabiliza interpretações quantitativas com potencial de aplicação subsidiária em instrumentos de planejamento territorial em geoparques.

Keywords

Spatial fragmentation
Abiotic metrics
Bivariate spatial autocorrelation (LISA)
Geodiversity index
Territorial planning

Abstract

Geodiversity can be understood as the structural foundation of landscapes, playing a significant role in shaping ecological processes and the spatial organization of land uses. In territories recognized as geoparks, the analysis of spatial relationships between abiotic heterogeneity and land occupation can support territorial planning and management strategies. This study aims to quantify the internal statistical consistency of physical landscape components and investigate their spatial associations with land-use and land-cover patterns in the Quarta Colônia UNESCO Global Geopark (Rio Grande do Sul, Brazil). The methodological approach was based on the application of a 2×2 km regular grid as the spatial unit of analysis, within which a Geodiversity Index was constructed from the richness of geological, geomorphological, soil, and hydrographic classes. Patterns of anthropogenic occupation were assessed under two metric scenarios: compositional richness of land-use classes (multipart arrangements) and spatial fragmentation (singlepart arrangements), represented by the number of patches. Relationships between variables were evaluated using Spearman's correlation and bivariate Local Indicators of Spatial Association (LISA). Results indicate a strong positive correlation among geodiversity components, particularly between geology, geomorphology, and soil variables, supporting the methodological robustness of the index. Areas with higher abiotic diversity tend to exhibit greater compositional richness of land uses, whereas fragmentation metrics show lower statistical dependence on physical landscape structure. Spatial modelling (LISA) identified zones of co-occurrence and statistical contrast between physical heterogeneity and land-use intensity. This study demonstrates that the integration of abiotic metrics, landscape ecology principles, and spatial statistics enables robust quantitative interpretations with potential applications in territorial planning instruments within geoparks.

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, RS, Brasil. wilhelm.martiele@acad.ufsm.br

²Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS, Brasil. ariel.geraldo@acad.ufsm.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, RS, Brasil. raquel.w@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

A geodiversidade, conceito introduzido na década de 1990 como contraparte da biodiversidade (Sharples, 1995; Wiedenbein, 1993), refere-se à variedade natural de elementos abióticos que compõem a superfície terrestre, incluindo rochas, minerais, fósseis, formas de relevo, solos e processos hidrológicos (Gray, 2013). Além de sua dimensão física, constitui a base estrutural dos ecossistemas, contribuindo para a configuração das paisagens, o suporte à biodiversidade e a provisão de serviços geossistêmicos, entendidos como benefícios diretos e indiretos derivados dos componentes e processos abióticos (Gray, 2011; Hjort; Luoto, 2012; Chakraborty; Gray, 2020).

A atribuição de valores específicos a parcelas singulares da geodiversidade fundamenta a sua integração ao patrimônio natural e geológico. Enquanto a geodiversidade abrange o conjunto dos componentes e processos abióticos, o patrimônio natural e geológico restringe-se aos elementos dotados de valor científico, educativo, cultural ou estético excepcional (Brilha, 2016; Reynard; Brilha, 2018). Esse reconhecimento impulsionou o desenvolvimento de metodologias voltadas à avaliação, ao mapeamento e à conservação desses locais, agrupadas, de forma geral, em abordagens qualitativas, baseadas na interpretação especializada, e quantitativas, fundamentadas em métricas numéricas e ferramentas de geoprocessamento (Pereira *et al.*, 2013; Zwoliński *et al.*, 2018; Guerini *et al.*, 2024).

Entre os métodos quantitativos destacam-se aqueles baseados em grades regulares, nos quais a riqueza, a diversidade e a distribuição espacial dos elementos abióticos são mensuradas por células espaciais. Serrano e Ruiz-Flaño (2007) propuseram um índice geomorfológico para avaliação da diversidade do relevo, enquanto Pereira *et al.* (2013) utilizaram a riqueza de elementos abióticos como base para índices de geodiversidade. Forte *et al.* (2018) introduziram o uso da densidade de centróides como medida da concentração espacial desses componentes.

Estudos posteriores refinaram essas abordagens mediante a incorporação de métricas oriundas da ecologia da paisagem, como os índices de Shannon e Simpson aplicados à diversidade abiótica (Manosso *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2024). Lopes *et al.* (2023) destacam ainda a influência da resolução espacial da grade na estabilidade e sensibilidade dos resultados, aspecto particularmente relevante em análises locais e regionais.

Esses índices têm sido amplamente empregados por permitirem a mensuração de atributos como riqueza, raridade e integridade, bem como a construção de indicadores sintéticos passíveis de integração com análises estatísticas e geoespaciais, revelando padrões de heterogeneidade dificilmente identificáveis por abordagens exclusivamente qualitativas (Serrano; Ruiz-Flaño, 2007; Hjort *et al.*, 2015). Essa perspectiva dialoga com os fundamentos da ecologia da paisagem, que enfatizam as relações entre estrutura espacial, função ecológica e dinâmica territorial (Forman; Godron, 1986; Turner, 1989; Turner *et al.*, 2001).

Mais recentemente, têm se consolidado abordagens que integram a geodiversidade às dinâmicas ecológicas e territoriais, ampliando sua aplicação para além das relações com a biodiversidade. Nesse contexto, a análise conjunta entre geodiversidade e padrões de uso e cobertura da terra (LULC) constitui uma ferramenta relevante para compreender a organização espacial da paisagem à luz de sua estrutura físico-natural (Scammacca *et al.*, 2022). Neste estudo, uso e cobertura da terra são considerados de forma integrada, abrangendo tanto as características biofísicas da superfície quanto às atividades humanas associadas à sua apropriação e transformação (Cihlar; Jansen, 2001; Rawat; Kumar, 2015; Gregorio, 2016). A utilização de métricas derivadas da ecologia da paisagem permite quantificar padrões de fragmentação, conectividade e diversidade espacial associados às diferentes formas de ocupação territorial, aproximando os estudos de geodiversidade da análise da configuração da paisagem (Gomes *et al.*, 2019; Forman; Godron, 1986; Turner, 1989).

Apesar de sua relevância teórica, estudos que exploram empiricamente as relações espaciais entre geodiversidade e uso e cobertura da terra ainda permanecem relativamente escassos. Essa lacuna manifesta-se em diferentes aspectos: (i) análises de autocorrelação espacial local, como o LISA, são geralmente aplicadas à geodiversidade de forma isolada, raramente integradas a variáveis de uso e cobertura da terra (Souza *et al.*, 2023; Esmaili, 2024); (ii) investigações em geoparques raramente utilizam o território geoparque como unidade integradora de análise em escala sub-regional, predominando estudos em escalas mais amplas ou centrados em geossítios individuais (Scammacca *et al.*, 2022; Tukiainen *et al.*, 2017; Pál; Albert, 2023); (iii) persistem incongruências metodológicas decorrentes da sobreposição entre métricas de diversidade abiótica e métricas de configuração espacial da paisagem, que

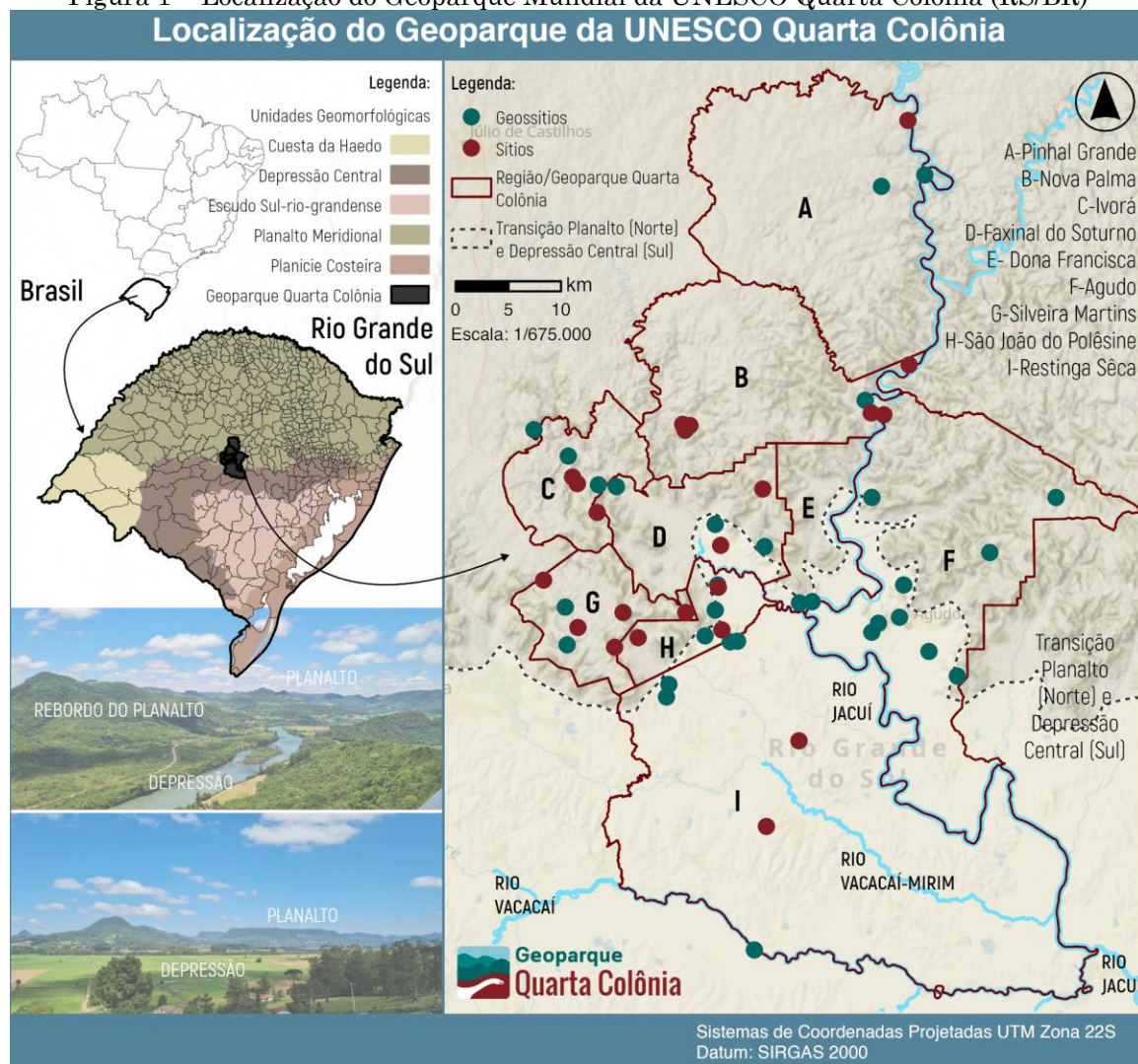
capturam fenômenos distintos (Danese *et al.*, 2021; Yao *et al.*, 2022); e (iv) a diversidade de métodos empregados para quantificar a geodiversidade dificulta comparações entre estudos e paisagens (Pál; Albert, 2023).

Entre as poucas contribuições que avançam diretamente nessa direção destacam-se os trabalhos de Datta (2022), que investigam a correlação entre diversidade abiótica e diversidade de uso e cobertura da terra. Outros estudos, embora não abordem explicitamente essa relação, evidenciam a importância da heterogeneidade abiótica na organização espacial de habitats, usos da terra e processos ecológicos (Jačková; Romportl, 2008; Hjort *et al.*, 2015; Tukiainen *et al.*, 2017). No contexto dos geoparques, análises recentes indicam que a geodiversidade ainda é aplicada de forma limitada e pouco sistematizada em instrumentos

de planejamento territorial e análises espaciais integradas, cenário particularmente evidente no Brasil (Wilhelm *et al.*, 2025).

Nesse contexto insere-se o Geoparque Mundial da UNESCO Quarta Colônia, localizado na região central do Rio Grande do Sul (Brasil) (Figura 1). Reconhecido pela UNESCO em 2023, o território abrange cerca de 2.900 km² distribuídos em nove municípios e reúne expressiva diversidade geológica, geomorfológica, pedológica e hidrográfica. A paisagem resulta da interação entre formações sedimentares da Bacia do Paraná, derrames basálticos da Serra Geral, escarpas estruturais, vales encaixados, planícies fluviais e uma rede hidrográfica hierarquizada, configurando um mosaico físico de elevada heterogeneidade ambiental.

Figura 1 – Localização do Geoparque Mundial da UNESCO Quarta Colônia (RS/BR)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Diante desse cenário, este artigo objetiva analisar as associações estatísticas e espaciais

entre a geodiversidade e os padrões de uso e cobertura da terra no Geoparque Mundial da

UNESCO Quarta Colônia. A hipótese central é que a heterogeneidade abiótica apresenta correspondência espacial com distintos arranjos de ocupação territorial. Espera-se que áreas com maior geodiversidade estejam associadas a cenários *multipart*, caracterizados por maior diversidade composicional de classes de uso e cobertura da terra, enquanto áreas com menor geodiversidade tendem a associar-se a cenários *singlepart*, marcados por padrões mais simplificados de ocupação. O estudo busca identificar zonas de coocorrência e contraste entre essas variáveis por meio de associações estatísticas e espaciais, sem pressupor relações causais diretas.

METODOLOGIA

A análise espacial foi estruturada a partir da aplicação de uma grade regular de células de 2×2 km sobre todo o território do Geoparque Mundial da UNESCO Quarta Colônia, adotada como unidade espacial de integração e comparação das variáveis ambientais e antrópicas. O uso da grade permite compatibilizar informações de natureza heterogênea, reduzir discrepâncias de escala entre bases temáticas e viabilizar a quantificação sistemática da diversidade abiótica e dos padrões de uso e cobertura da terra (Lopes *et al.*, 2023). Todas as bases cartográficas foram compatibilizadas na escala 1:250.000 e projetadas no sistema SIRGAS 2000 / UTM zona 22S.

A definição da resolução espacial de 2×2 km foi fundamentada em testes multiescala previamente realizados pelos autores, nos quais

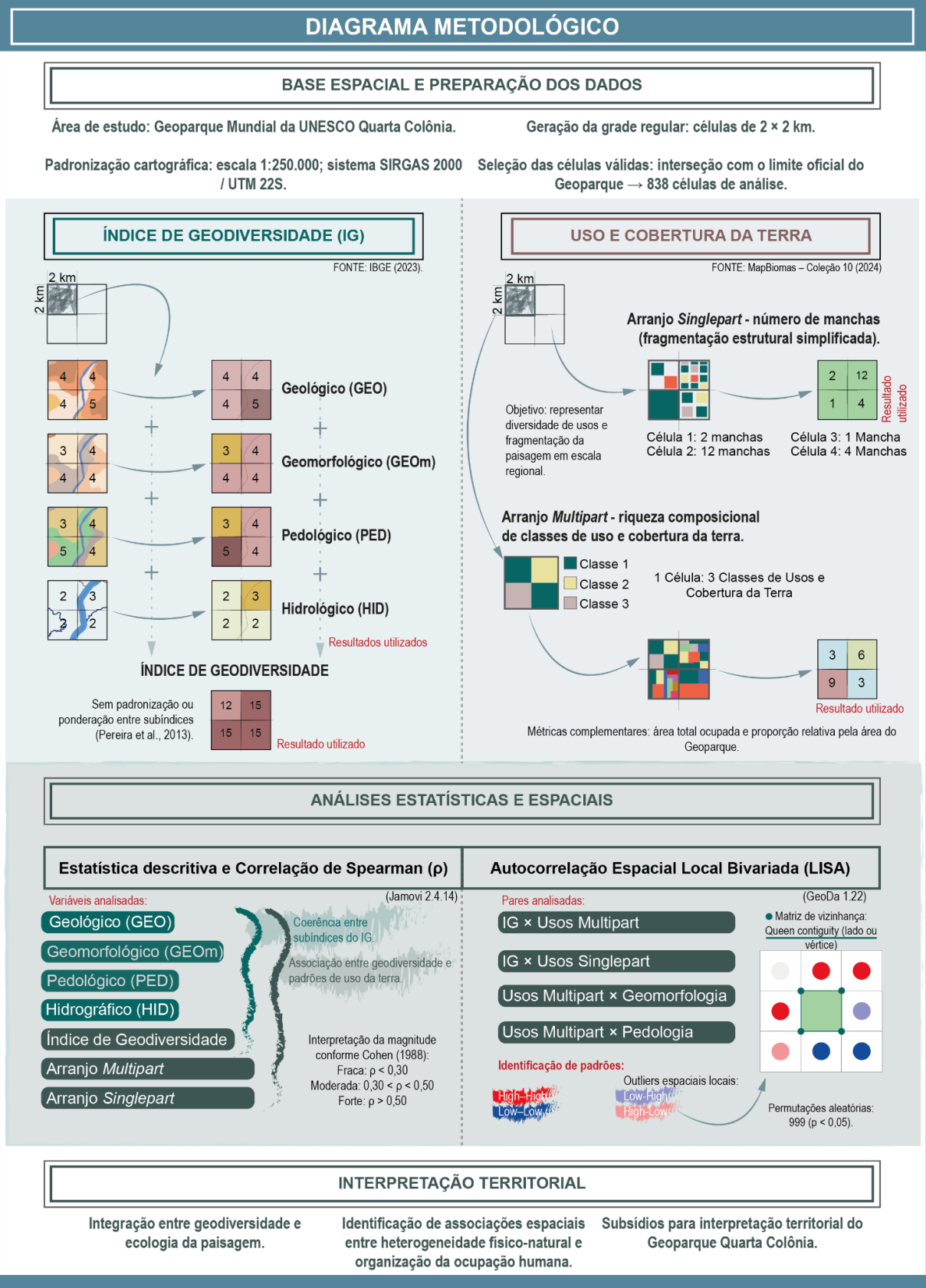
diferentes tamanhos de grade (500 m, 1 km, 2 km, 3 km e 5 km) foram avaliados quanto à estabilidade dos índices de diversidade, representatividade espacial da heterogeneidade abiótica e desempenho computacional. Os testes indicaram que a resolução de 2 km apresentou melhor equilíbrio entre detalhamento territorial e estabilidade analítica em escala regional, sendo compatível com a escala cartográfica das bases utilizadas (1:250.000) e com estudos semelhantes desenvolvidos em contextos regionais de geodiversidade (Manosso *et al.*, 2021; Lopes *et al.*, 2023).

A grade regular foi inicialmente gerada de forma contínua sobre toda a extensão territorial e, posteriormente, as células interceptadas pelo limite oficial do Geoparque foram selecionadas por meio de operação de interseção espacial, resultando em 838 células de análise (Figura 2).

A quantificação do índice de geodiversidade (IG) seguiu a abordagem de Pereira *et al.* (2013), considerando quatro componentes físicos da paisagem obtidos a partir de bases cartográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), organizados em subíndices: geológico (GEO), geomorfológico (GEOm), pedológico (PED), representados por dados poligonais e hidrográfico (HID) (Figura 2).

Os três primeiros foram representados por dados poligonais, enquanto o componente hidrográfico, originalmente vetorial linear, passou por adaptação metodológica inspirada em Datta (2022) e Forte *et al.* (2018). A conversão da rede hidrográfica em polígonos buscou compatibilizar geometricamente esse componente com os demais subíndices da geodiversidade, permitindo sua integração na análise espacial em grade regular.

Figura 2 – Diagrama descritivo: Metodologia



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Para isso, os buffers foram definidos a partir da combinação entre: (i) ordem hierárquica dos cursos d'água segundo Strahler (1952); (ii) larguras de APP previstas no Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), utilizadas apenas como referência ecológica teórica; e (iii) medições médias reais obtidas em rios representativos da área de estudo.

Essa adaptação metodológica não objetiva representar a largura legal ou real dos canais, mas construir uma aproximação espacial funcional da influência hidrográfica na composição da paisagem, assegurando compatibilidade geométrica com os demais componentes abióticos.

Em cada célula da grade foi contabilizada a riqueza de classes distintas de cada componente, sendo os valores posteriormente integrados por soma simples para obtenção do Índice de Geodiversidade (IG), conforme a expressão:

$$IG = GEO + GEOm + PED + HID$$

A adoção da soma simples segue a proposta original de Pereira *et al.* (2013) e parte do pressuposto de que os componentes representam dimensões complementares da diversidade abiótica, sem atribuição prévia de hierarquia ou relevância relativa entre eles.

Nesse contexto, o índice busca representar a riqueza composicional dos elementos físicos da paisagem, e não estabelecer pesos de importância ambiental, funcional ou patrimonial entre os componentes analisados. Optou-se, portanto, por não aplicar padronização ou ponderação entre os subíndices, mantendo a lógica de riqueza temática acumulada dentro de cada unidade espacial.

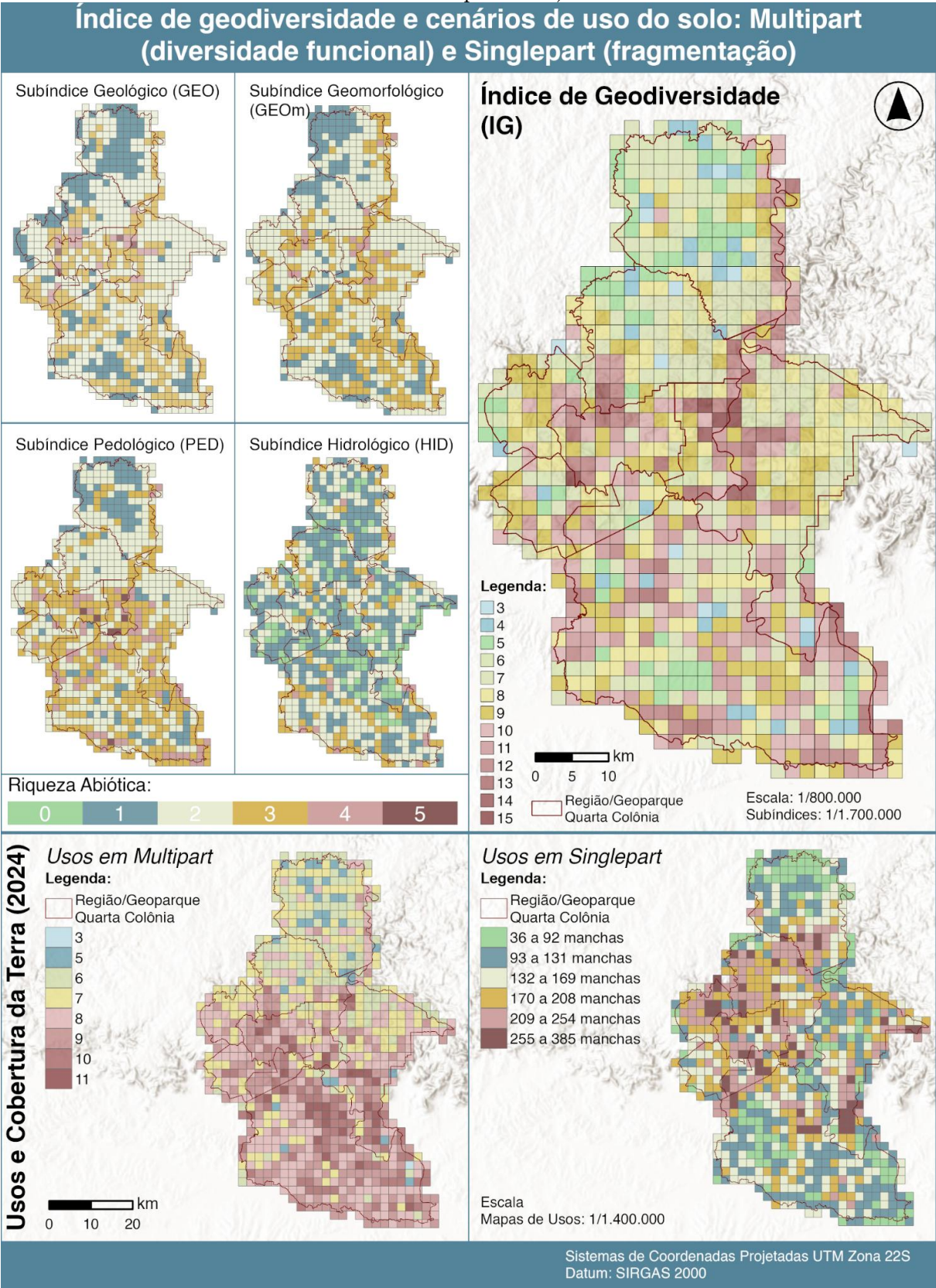
Os dados de uso e cobertura da terra foram derivados do MapBiomass coleção 10, ano de 2024 (MapBiomass, 2024) e integrados à mesma grade regular, também sem padronização, considerando indicadores estruturais da paisagem: (i) riqueza composicional de classes de uso e cobertura da terra (*Multipart*), expressa pelo número de classes distintas presentes em cada célula, e (ii) fragmentação estrutural simplificada (*Singlepart*), mensurada pelo número de manchas (polígonos individuais) por unidade espacial (Figura 2; Figura 3).

Complementarmente, foram consideradas métricas espaciais associadas às manchas — área total ocupada e proporção relativa por célula — permitindo avaliar a intensidade e a configuração da ocupação antrópica.

Reconhece-se que a fragmentação da paisagem constitui um fenômeno multidimensional, normalmente analisado por métricas complementares relacionadas à conectividade, densidade de borda, contágio e configuração espacial das manchas. Nesse contexto, o número de manchas foi utilizado como indicador simplificado da fragmentação estrutural, adequado à escala regional da análise e à lógica matricial da grade regular adotada, permitindo identificar padrões espaciais gerais de subdivisão e heterogeneidade da ocupação da terra.

Para examinar as relações entre as variáveis, as análises estatísticas foram realizadas no *software Jamovi* versão 2.4.14 (Jamovi, 2024). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de *Shapiro-Wilk*, que indicou distribuição não paramétrica.

Figura 3 – Grade regular de 2 × 2 km utilizada para integrar o índice de geodiversidade e os dois cenários de uso do solo: *Multipart* (riqueza composicional de classes) e *Singlepart* (número de manchas por célula)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Assim, adotou-se o coeficiente de correlação de *Spearman* (ρ) para avaliar a coerência interna dos componentes do Índice de Geodiversidade e sua associação com os padrões de uso e cobertura da terra nos cenários *Multipart* e *Singlepart*. Por operar com base em postos, o método de *Spearman* reduz a influência de diferenças de amplitude entre variáveis, sendo adequado para análises de associação entre dados não paramétricos e métricas derivadas de distintas fontes cartográficas.

A interpretação da magnitude das correlações seguiu as diretrizes de Cohen (1988), que classificam como fracas as correlações com $\rho < 0,30$, moderadas aquelas entre 0,30 e 0,49 e fortes as que atingem valores iguais ou superiores a 0,50.

Complementarmente à correlação estatística, aplicou-se a Autocorrelação Espacial Local Bivariada (LISA) no *software GeoDa* versão 1.22.0.4 (Anselin *et al.*, 2024), utilizando matriz de contiguidade do tipo *Queen* (Anselin, 2005), que considera como vizinhas todas as células que compartilham ao menos um lado ou vértice, ampliando a sensibilidade na detecção de padrões espaciais (Anselin, 1995; Cressie, 1993).

A LISA foi aplicada para duas situações do estudo. A primeira análise utilizou os pares IG $\times$ Usos_*Multipart* e IG $\times$ Usos_*Singlepart*, considerando que a riqueza de classes e o grau de fragmentação dos usos e cobertura da terra representam diferentes regimes de organização territorial.

Em uma segunda etapa, foram analisados os pares Usos_*Multipart* $\times$ Geomorfologia e Usos_*Multipart* $\times$ Pedologia, buscando aprofundar a compreensão das relações espaciais entre a diversidade dos usos e componentes físicos diretamente associados à configuração e às potencialidades da paisagem. A opção por esses subíndices decorre de seu papel estruturante na organização territorial, uma vez que as condições geomorfológicas e pedológicas influenciam a aptidão dos terrenos, a ocupação antrópica e a distribuição dos diferentes usos da terra, permitindo uma interpretação espacial mais direta das associações observadas.

A significância estatística dos agrupamentos locais foi avaliada por meio de 999 permutações aleatórias, adotando-se nível de significância de $p < 0,05$, conforme procedimento padrão implementado no *software GeoDa*. Os resultados foram interpretados com base nos níveis de pseudo-significância fornecidos pelo software, sem aplicação de correções adicionais para múltiplos testes espaciais. Essa etapa permitiu

identificar agrupamentos espaciais significativos (*High-High*, *Low-Low*) e outliers locais, evidenciando padrões territoriais de associação entre diversidade abiótica e organização antrópica da paisagem.

Assim como na análise de *Spearman*, optou-se por não aplicar normalização prévia dos valores, considerando que a LISA opera a partir de relações espaciais relativas entre unidades vizinhas e não da magnitude absoluta das variáveis.

A integração entre o índice de geodiversidade e métricas derivadas da ecologia da paisagem permitiu analisar simultaneamente a heterogeneidade físico-natural e a estrutura espacial da ocupação humana, fornecendo uma leitura territorial voltada à identificação de associações espaciais entre heterogeneidade físico-natural e padrões de organização da ocupação humana no Geoparque Quarta Colônia.

RESULTADOS

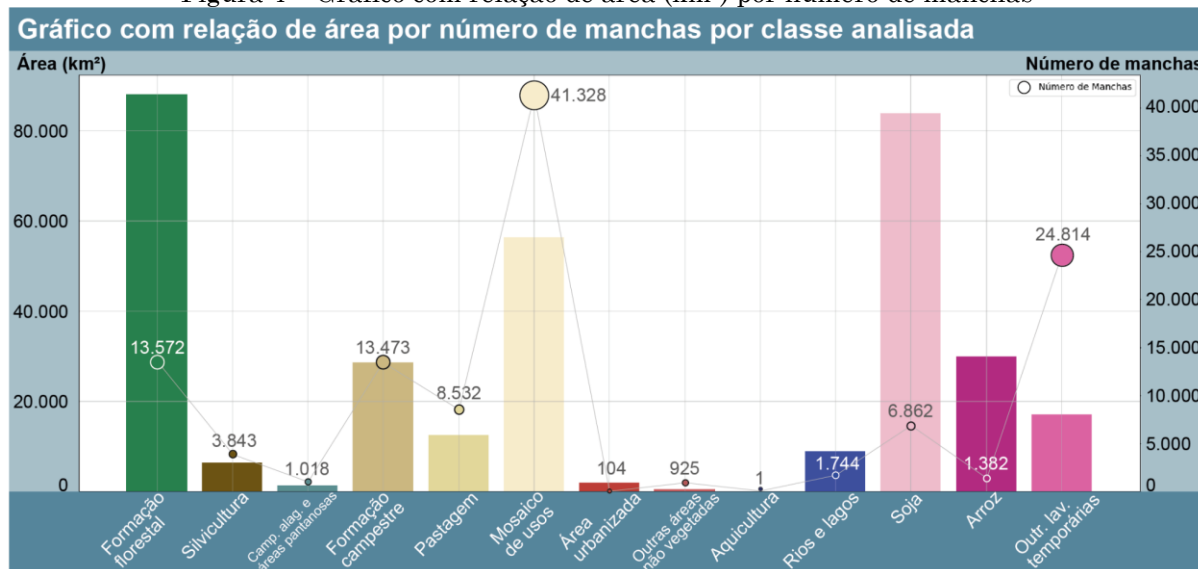
A distribuição das classes de uso e cobertura da terra no território do Geoparque Mundial da UNESCO Quarta Colônia revela um mosaico marcado pela predominância de usos antrópicos (62,17%) em contraste aos usos naturais (37,83%) (Tabela A1 - Material Suplementar – Wilhelm *et al.*, 2026). Entre os usos naturais, a formação florestal possui área de 879,45 km² (26,24% do Geoparque), configurando-se como a maior classe deste grupo em termos de extensão e principal uso natural no cenário *Multipart*, conforme esquematizado na Figura 4. Na perspectiva *Singlepart*, a formação florestal totaliza 13.572 manchas em todo território da Quarta Colônia, enquanto a média de manchas de entre todas as classes de uso e cobertura da terra é de 9.046. Além disso, apresenta a segunda maior mancha contínua entre todas as classes avaliadas, com 98,40 km². A formação campestre constitui o segundo uso natural mais representativo, com área correspondente a 286,3 km² (8,54% do Geoparque), totalizando 13.473 manchas.

No conjunto dos usos antrópicos, predominam as atividades agropecuárias, responsáveis pela maior parcela de ocupação territorial (Figura 4). A soja representa o uso mais extenso deste conjunto, com 837,2 km² (24,98% do Geoparque), constituindo a principal cultura no cenário *Multipart*. Sua maior mancha possui área de 149,1 km². Na análise *Singlepart*, essa classe totaliza 6.862 manchas. Em

seqüência, o mosaico de usos representa a segunda maior classe antrópica em área, com 563,5 km² (16,82% do Geoparque), e apresenta

41.328 manchas, correspondendo a 35,14% do total de manchas mapeadas na Quarta Colônia.

Figura 4 – Gráfico com relação de área (km²) por número de manchas



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A aplicação da análise estatística de Spearman evidenciou associações significativas entre a maior parte dos indicadores analisados (Tabela B1 – Material Suplementar – Wilhelm *et al.*, 2026). As correlações de maior magnitude concentraram-se entre os componentes físicos da paisagem — Geologia, Geomorfologia e Pedologia — cujos coeficientes variaram entre $\rho = 0,64$ e $\rho = 0,71$ ($p < 0,001$). O Índice de Geodiversidade apresentou correlações mais elevadas com esses mesmos componentes ($\rho > 0,80$; $p < 0,001$), resultado compatível com sua estrutura composicional.

As associações entre geodiversidade e os padrões de uso do solo mostraram comportamento distinto conforme o tipo de métrica adotada. No cenário *Multipart*, observaram-se correlações variando entre $\rho = 0,27$ (Pedologia) e $\rho = 0,42$ (Hidrografia) ($p < 0,001$). A relação entre Geodiversidade e Hidrografia apresentou coeficiente nessa faixa ($\rho \approx 0,49$; $p < 0,001$).

Em contraste, o cenário *Singlepart* apresentou predominantemente correlações fracas com os componentes abióticos ($\rho \approx 0,08$; $p < 0,05$), além de associação moderada com Usos_ *Multipart* ($\rho = 0,28$; $p < 0,001$). A relação entre Usos_ *Singlepart* e Hidrografia apresentou coeficiente negativo ($\rho = -0,15$; $p < 0,001$).

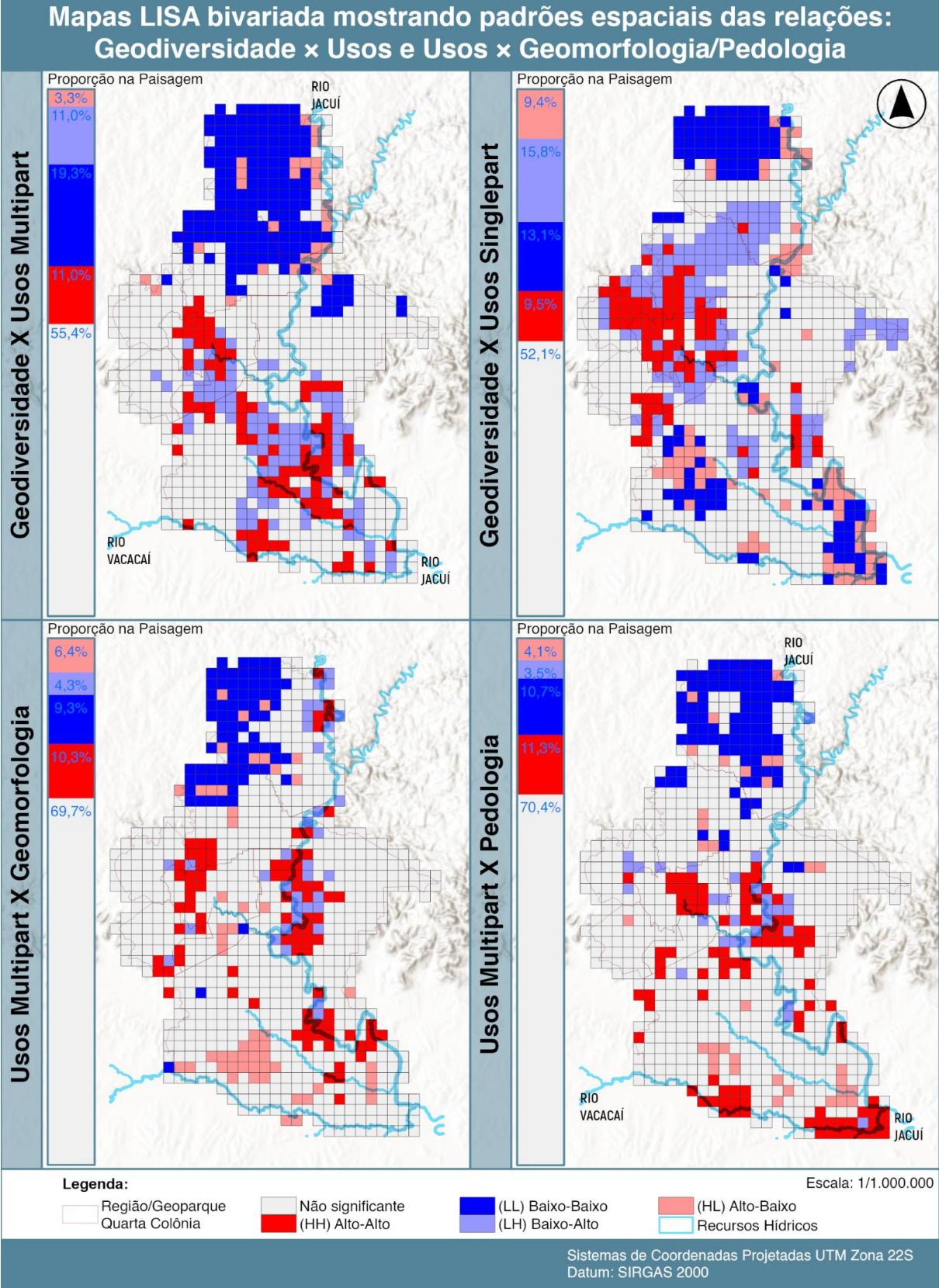
A análise de Moran Global Bivariado indicou padrões espaciais positivos de baixa a moderada intensidade, conforme classificação proposta por Anselin (2005), na qual os valores de I próximos

de zero indicam ausência de autocorrelação espacial, valores entre 0,1 e 0,3 representam associação espacial fraca a moderada, e valores superiores a 0,3 indicam dependência espacial. Nesse contexto, observaram-se associações positivas entre Geodiversidade e Usos_ *Multipart* ($I = 0,215$), Geodiversidade e Hidrografia ($I = 0,165$), Usos_ *Multipart* e Geomorfologia ($I = 0,167$) e, de forma mais elevada, Usos_ *Multipart* e Pedologia ($I = 0,271$). Por outro lado, a relação entre Geodiversidade e Usos_ *Singlepart* apresentou valor próximo de zero ($I = -0,014$), indicando ausência de autocorrelação espacial expressiva entre as variáveis.

Em escala local, a LISA bivariada revelou padrões espaciais heterogêneos (Figura 5), com predominância de áreas não significativas (52% a 71% das células; $p < 0,05$). Os agrupamentos *High-High* entre Geodiversidade e Usos_ *Multipart* distribuem-se principalmente na porção centro-sul do geoparque, enquanto os clusters *Low-Low* predominam na metade norte.

Na relação Geodiversidade $\times$ Usos_ *Singlepart*, os agrupamentos *High-High* apresentaram distribuição pontual e descontínua, concentrando-se sobretudo na faixa central do território. Em contraste, os padrões *Low-High* ocorreram predominantemente em setores periféricos e áreas agrícolas extensivas.

Figura 5 – Mapas de autocorrelação LISA bivariada para as variáveis estudadas e porcentagem dos clusters na paisagem



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nas análises Usos_Multipart × Geomorfologia e Usos_Multipart × Pedologia, os padrões *High-High* concentram-se nas faixas centrais e meridionais do território. Em contrapartida, os agrupamentos *Low-High* correspondem a áreas com elevada diversidade física e menor diversidade de usos.

De modo geral, os resultados evidenciam diferenças entre os padrões espaciais observados para as métricas *Multipart* e *Singlepart*, especialmente quanto à intensidade das associações espaciais com os componentes físicos-naturais da paisagem.

DISCUSSÕES

A distribuição dos usos e coberturas da terra no Geoparque Mundial da UNESCO Quarta Colônia evidencia uma paisagem amplamente transformada por atividades antrópicas, que ocupam mais de 60% da área total. Embora esse padrão seja comum em paisagens rurais consolidadas do sul do Brasil, sua ocorrência em um território geopatrimonial adquire relevância particular, uma vez que se desenvolve sobre uma base físico-natural marcada por elevada heterogeneidade geológica, geomorfológica, pedológica e hidrográfica.

Os resultados revelam uma configuração espacial caracterizada por elevada fragmentação, expressa pelo grande número de manchas associadas tanto aos usos antrópicos quanto às coberturas naturais. Nas áreas agrícolas e nos mosaicos de usos predominam padrões espaciais descontínuos e heterogêneos, enquanto as formações naturais, embora ainda representativas na paisagem, também se encontram subdivididas em múltiplos fragmentos. Esse cenário reforça a importância de abordagens integradas capazes de analisar conjuntamente a diversidade física da paisagem e os processos de ocupação territorial, especialmente em contextos nos quais a geodiversidade se relaciona com a organização espacial dos usos da terra e com os processos ecológicos associados (Gomes *et al.*, 2019; Scammacca *et al.*, 2022).

A análise integrada entre área ocupada, número de manchas e padrões espaciais evidenciou que a ocupação do território não ocorre de forma homogênea. Cultivos como soja e arroz apresentam extensas áreas contínuas, caracterizando configurações predominantemente *singlepart*, nas quais a continuidade espacial dos usos supera sua diversidade composicional. Esse padrão é

compatível com as correlações fracas observadas entre a métrica *singlepart* e os componentes abióticos, bem como com a ausência de autocorrelação espacial global significativa em relação à geodiversidade. Na perspectiva da ecologia da paisagem, configurações dessa natureza são frequentemente associadas à simplificação da matriz territorial e à especialização produtiva (Forman; Godron, 1986; Turner, 1989; Turner *et al.*, 2001).

Ainda assim, a distribuição espacial dessas culturas permanece associada a características da base físico-natural. O cultivo de arroz concentra-se predominantemente nas planícies aluviais da Depressão Central, favorecidas pela disponibilidade hídrica, enquanto a soja ocupa preferencialmente áreas do Planalto Meridional com relevo suavemente ondulado e solos mais profundos. Esses padrões sugerem associações entre condições geomorfológicas, pedológicas e hidrográficas e a especialização dos usos da terra, mesmo em sistemas produtivos fortemente tecnificados (Jačková; Romportl, 2008; Hjort *et al.*, 2015).

Em contraste, os cenários *multipart* apresentaram associações estatísticas e espaciais mais consistentes com a geodiversidade. Áreas caracterizadas por maior diversidade composicional de usos e coberturas da terra concentraram correlações positivas com os componentes abióticos e maior ocorrência de clusters *High-High* em áreas de elevada variabilidade geomorfológica e pedológica. Esses resultados sugerem que paisagens com maior heterogeneidade físico-natural tendem a apresentar configurações territoriais mais diversificadas em escala local. Tal comportamento é compatível com o conceito de mosaico paisagístico composicionalmente diversificado (Forman, 1995) e com resultados obtidos por Tukiainen *et al.* (2017), que identificaram associações entre heterogeneidade abiótica e diversidade espacial de habitats.

Nas classes naturais, as formações florestais e campestres continuam ocupando parcelas relevantes do território, embora apresentem elevado grau de compartimentação espacial. As formações florestais concentram-se principalmente em áreas mais declivosas do Rebordo do Planalto, onde as restrições geomorfológicas limitam a expansão agrícola. Já os campos ocorrem predominantemente em setores mais acessíveis e, por essa razão, mostram-se mais suscetíveis à conversão para usos produtivos. Esses resultados convergem com tendências observadas em outras paisagens campestres do sul do Brasil (Fernández *et al.*,

2021; De Oliveira Lopes *et al.*, 2024) e sugerem que a persistência das coberturas naturais está associada tanto às características físico-naturais quanto aos processos históricos de ocupação do território (Gray, 2011; Gray, 2013; Hjort *et al.*, 2015; Chakraborty; Gray, 2020).

As elevadas correlações observadas entre geologia, geomorfologia e pedologia, bem como sua forte associação com o índice de geodiversidade, são compatíveis com a estrutura composicional do próprio índice e indicam a integração entre os principais componentes da base físico-natural (Serrano; Ruiz-Flaño, 2007; Zwoliński *et al.*, 2018). Quando analisadas em conjunto com as métricas de uso e cobertura da terra, essas relações sugerem a coexistência de diferentes regimes espaciais de organização territorial. Enquanto os cenários *multipart* apresentaram associações mais consistentes com a heterogeneidade físico-natural, os cenários *singlepart* mostraram-se mais relacionados à continuidade espacial de usos especializados e à simplificação da matriz paisagística (Turner, 1989; McGarigal; Marks, 1995).

A hidrografia apresentou comportamento distinto dos demais componentes analisados. Diferentemente do observado por Datta (2022), sua associação espacial esteve vinculada principalmente a usos especializados e contínuos, especialmente ao cultivo de arroz irrigado. Esse resultado evidencia que diferentes componentes da geodiversidade podem relacionar-se de maneiras distintas com os padrões de ocupação territorial, reforçando a necessidade de análises que considerem tanto indicadores sintéticos quanto seus componentes individuais.

Por fim, a utilização combinada do Moran Global e dos indicadores locais de associação espacial (LISA) permitiu identificar padrões territoriais que não seriam evidenciados apenas por estatísticas globais. Os clusters de convergência e contraste revelaram setores onde coexistem elevada heterogeneidade físico-natural e intensificação dos usos antrópicos, bem como áreas onde essas relações se apresentam de forma menos evidente. Essa abordagem responde a lacunas apontadas por estudos recentes sobre geodiversidade e análise espacial, que destacam a importância de técnicas locais para compreender heterogeneidades intra-regionais e padrões territoriais complexos (Souza *et al.*, 2023; Esmaili, 2024).

Em síntese, os resultados indicam que a geodiversidade apresenta associações espaciais diferenciadas com os padrões de uso e cobertura

da terra no Geoparque Mundial da UNESCO Quarta Colônia. A distinção entre diversidade composicional dos usos (*multipart*) e continuidade espacial dos usos (*singlepart*) contribui para compreender diferentes formas de organização territorial e suas relações com a heterogeneidade físico-natural da paisagem, ampliando o diálogo entre geodiversidade, ecologia da paisagem e planejamento territorial (Wu, 2013).

Esses achados reforçam a importância de abordagens integradas para a análise da geodiversidade em escala de paisagem, conforme proposto por Gomes, *et al.* (2019), ao evidenciar que os componentes físicos do território podem ser interpretados em articulação com a organização espacial dos usos da terra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciaram associações consistentes entre a geodiversidade e os padrões de uso e cobertura da terra no Geoparque Mundial da UNESCO Quarta Colônia. A integração entre geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia permitiu representar a heterogeneidade físico-natural do território por meio de um índice sintético de geodiversidade, utilizado como base para as análises estatísticas e espaciais desenvolvidas.

As correlações e os padrões de autocorrelação espacial indicaram que áreas com maior geodiversidade tendem a associar-se a cenários *multipart*, caracterizados por maior diversidade composicional de usos e coberturas da terra, enquanto áreas menos heterogêneas apresentam maior ocorrência de padrões *singlepart*, relacionados à simplificação do mosaico territorial. Esses resultados são compatíveis com a hipótese de que a heterogeneidade abiótica apresenta correspondência espacial com diferentes formas de organização da paisagem, sem implicar relações causais diretas.

A aplicação conjunta de métricas de geodiversidade, indicadores derivados da ecologia da paisagem e análises de autocorrelação espacial mostrou-se útil para identificar zonas de convergência e contraste entre diversidade abiótica e padrões de uso da terra, evidenciando setores onde coexistem elevada heterogeneidade físico-natural e intensificação das transformações antrópicas.

Dessa forma, o estudo contribui para ampliar a compreensão das relações entre

geodiversidade e organização territorial em escala de paisagem, oferecendo subsídios para o planejamento e a gestão de geoparques. Como limitação, destaca-se que os resultados refletem associações espaciais observadas para o recorte territorial e para as métricas adotadas, recomendando-se que pesquisas futuras explorem diferentes escalas de análise, indicadores complementares de fragmentação e aplicações comparativas em outros territórios geoparques.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association – LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- ANSELIN, L. GeoDa: an introduction to spatial data analysis. **Geographical Analysis**, v. 38, n. 1, p. 5–22, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>
- ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. **GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis** (Version 1.22.0.4) [Software]. GeoDa Center, 2024. Disponível em: <https://geodacenter.github.io/>. Acesso em: 15 ago. 2025
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 17 ago. 2025.
- BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. **Geoheritage**, v. 8, n. 2, p. 119–134, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- CHAKRABORTY, A.; GRAY, M. A call for mainstreaming geodiversity in nature conservation research and praxis. **Journal for Nature Conservation**, v. 56, p. 1–5, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125862>
- CIHLAR, J.; JANSEN, L. J. M. From land cover to land use: a methodology for efficient land use mapping over large areas. **The Professional Geographer**, v. 53, n. 2, p. 275–289, 2001. <https://doi.org/10.1111/0033-0124.00285>
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2. ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: Wiley, 1993. <https://doi.org/10.1002/9781119115151>
- DANESE, M.; GIOIA, D.; AMODIO, A. M.; CORRADO, G.; SCHIATTARELLA, M. A spatial method for the geodiversity fragmentation assessment of Basilicata Region, Southern Italy. In: GERVASI, O. et al. (Org.). **Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021**. Cham: Springer, 2021. p. 620–631. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86970-0_43
- DATTA, K. Does geodiversity correlate with land use/land cover diversity? A case study of Birbhum district, West Bengal, India. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 133, n. 6, p. 589–602, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2022.07.004>
- DE OLIVEIRA LOPES, Â. L.; BARTZ SCHWANZ, V.; HECK SIMON, A. L. Uso da terra e ameaças à geodiversidade no Bioma Pampa brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 6, p. 4156–4176, 2024. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4156-4176>
- ESMAILI, R. Quantitative evaluation and spatial clustering of geodiversity in Iran. **Geoheritage**, v. 16, n. 13, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12371-024-00914-4>
- FERNÁNDEZ, G.; GUERRERO, M.; JACINTO, G.; NOGAR, G.; VALENZUELA, S.; POSADA, M. Degradación ambiental, agricultura y decisiones productivas: un estudio de un área de la pampa argentina. **Sociedade & Natureza**, v. 9, n. 17, 2021. <https://doi.org/10.14393/SN-v9-1997-61177>
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. <https://doi.org/10.1017/9781107050327>
- FORTE, J. P.; BRILHA, J.; PEREIRA, D. I.; NOLASCO, M. **Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity**. **Geoheritage**, v. 10, p. 205–217, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0282-3>
- GOMES, M.; FERREIRA, R. L.; RUCHKYS, Ú. A. Landscape evolution in ferruginous geosystems of the Iron Quadrangle, Brazil: a speleological approach in a biodiversity hotspot. **Discover Applied Sciences** v. 1, n. 9, p. 1–13, set. 2019. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1139-3>
- GOMES, M.; RUCHKYS, Ú. A.; FERREIRA, R. L.; GOULART, F. F. Landscape Fragmentation around Ferruginous Caves of the Iron Quadrangle, Minas Gerais, Brazil. **Cuadernos de Geografia: Revista Colombiana de Geografia**, v. 28, n. 1, p. 89–101, 2019. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67506>

- GREGORIO, A. D. **Land cover classification system**: classification concepts. Rome: FAO, 2016.
- GRAY, M. Other nature: geodiversity and geosystem services. **Environmental Conservation**, v. 38, n. 3, p. 271–274, 2011. <https://doi.org/10.1017/S0376892911000117>
- GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. 2. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2013.
- GUERINI, M.; MANTOVANI, A.; KHOSO, R. B.; GIARDINO, M. Exploring the correlation between geoheritage and geodiversity through comprehensive mapping. **Geomorphology**, v. 461, p. 109298, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109298>
- HJORT, J.; LUOTO, M. Can geodiversity be predicted from space? **Geomorphology**, v. 153–154, p. 74–80, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.02.010>
- HJORT, J.; GORDON, J. E.; GRAY, M.; HUNTER, M. L. Why geodiversity matters in valuing nature's stage. **Conservation Biology**, v. 29, n. 3, p. 630–639, 2015. <https://doi.org/10.1111/cobi.12510>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Consulta geomorfologia**. BDIA Web. 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- JÁČKOVÁ, K.; ROMPORTL, D. The relationship between geodiversity and habitat richness in Šumava National Park and Křivoklátsko PLA. **Journal of Landscape Ecology**, v. 1, n. 1, p. 23–38, 2008. <https://doi.org/10.2478/v10285-012-0003-6>
- LOPES, C.; TEIXEIRA, C.; PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P. Identifying optimal cell size for geodiversity quantitative assessment. **Resources**, v. 12, n. 6, art. 65, 2023. <https://doi.org/10.3390/resources12060065>
- 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**, v. 126, 107703, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107703>
- MAPBIOMAS. Coleção 10 dos Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. São Paulo: MapBiomas, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: USDA Forest Service, 1995. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>
- PÁL, M.; ALBERT, G. From geodiversity assessment to geosite analysis – Bakony-Balaton UNESCO Global Geopark. **Geological Society of London, Special Publications**, v. 530, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.1144/sp530-2022-126>
- PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P.; BRILHA, J.; SANTOS, L. Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. **Environmental Management**, v. 52, p. 541–552, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0100-2>
- RAWAT, J. S.; KUMAR, M. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, n. 1, p. 77–84, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>
- REYNARD, E.; BRILHA, J. (Ed.). **Geoheritage**: assessment, protection, and management. Amsterdam: Elsevier, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00030-7>
- SCAMMACCA, O.; BÉTARD, F.; AERTGEERTS, G.; HEURET, A.; FERMET-QUINET, N.; MONTAGNE, D. E. Geodiversity assessment of French Guiana: challenges and implications for sustainable land planning. **Geoheritage**, v. 14, n. 3, art. 83, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00716-6>
- SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity: a theoretical and applied concept. **Geographica Helvetica**, v. 62, n. 3, p. 140–147, 2007. <https://doi.org/10.5194/gh-62-140-2007>
- SHARPLES, C. Geoconservation in forest management – principles and procedures. **Tasforests**, v. 7, p. 37–50, 1995. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Chris-Sharplees-2/publication/291701182_Geoconservation_in_forest_management-principles_and_procedures/links/56c026e908aee4ba05630156/Geoconservation-in-forest-management-principles-and-procedures.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.
- SILVA, J. M. F.; SILVA, J. P.; MANOSSO, F. C. Evaluation of geodiversity in the Brazilian Amazon using different quantification methodologies. **Geomorphology**, v. 466, 109441, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109441>
- SOUZA, F. É. V. de; RUCHKYS, Ú. A.; FONSECA, B. M.; LOBO, C. Relief Dissection Potential and its Relationship with Geodiversity in a Karstic Region of Brazil. **Sociedade & Natureza**, v. 35, art. 68709, 2023. <https://doi.org/10.14393/sn-v35-2023-68709>
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117–1142, 1952. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- THE JAMOVI PROJECT. **Jamovi (Version 2.4.14) [Software]**. 2024. Disponível em:

- <https://www.jamovi.org/index.html>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- TUKIAINEN, H.; ALAHUHTA, J.; FIELD, R.; HJORT, J.; LUOTO, M. Spatial relationship between biodiversity and geodiversity. **Landscape Ecology**, v. 32, n. 5, p. 1049–1063, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0508-9>
- TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 20, p. 171–197, 1989. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.20.110189.001131>
- TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. **Landscape ecology in theory and practice: pattern and process**. New York: Springer, 2001.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). **Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural**. Paris: UNESCO, 1972.
- WIEDENBEIN, F. W. **Ein Geotopschutzkonzept für Deutschland**. In: QUASTEN, H. (Org.). **Geotopschutz**. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, 1993.
- WILHELM, M.; VIEIRA ROMANO, F.; WEISS, R.; GUILHERME AITA PIPPI, L. UNESCO Global Geoparks and geomorphology. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 26, n. 4, 2025. <https://doi.org/10.20502/rbg.v26i4.2611>
- WILHELM, M.; ZAGHETTI, A.; WEISS, R. **Supplementary Data for: Geodiversity and Landscape Structure in the Quarta Colônia UNESCO Global Geopark, Brazil: Compositional Richness and Land-Use and Land-Cover Fragmentation [Dataset]**. Zenodo, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21296794>
- WU, J. Landscape sustainability science. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 6, p. 999–1023, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9>
- YAO, Y.; CHENG, T.; SUN, Z.; LI, L.; CHEN, D.; CHEN, Z.; WEI, J.; GUAN, Q. VecLI: A framework for calculating vector landscape indices considering landscape fragmentation. **Environmental Modelling & Software**, v. 149, art. 105325, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105325>
- ZWOLIŃSKI, Z.; NAJWER, A.; GIARDINO, M. Methods for assessing geodiversity. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. (Org.). **Geoheritage: assessment, protection and management**. Oxford: Elsevier, p. 27–52. 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00002-2>

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Martiele Wilhelm: Conceitualização, Pesquisa, Metodologia, Curadoria de dados, Análise de dados, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original e Redação – revisão e edição. Ariel Felipe Geraldo Zaghetto: Curadoria de dados, Análise de dados, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original e Redação – revisão e edição. Raquel Weiss: Supervisão e Redação – revisão e edição.

EDITOR ASSOCIADO: Silvio Carlos Rodrigues. 

DISPONIBILIDADE DE DADOS: Os dados que fundamentam os resultados deste estudo poderão ser disponibilizados pelo autor correspondente, mediante solicitação devidamente justificada. [Martiele Wilhelm].



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.