

# AJUSTE METODOLÓGICO NAS VARIÁVEIS PARA A OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE NO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL (BRASIL)

**Vinícius Bartz Schwanz**

Graduado em Gestão Ambiental – FURG; Mestre em Geografia – UFPel  
E-mail: viniciusbschwanz@gmail.com

**Andrea Lenise de Oliveira Lopes**

Bacharela e licenciada em Geografia – UFPel; Mestre em Geografia (Análise Ambiental) – UFPel  
Doutoranda em Geografia – UFSM  
E-mail: lopes.andrea.geo@gmail.com

**Roberto Luiz dos Santos Antunes**

Geógrafo – UFSM; Mestre em Geografia – UFRGS; Doutor em Geografia Física – USP  
Professor adjunto do Instituto de Ciências Humanas – UFPel  
E-mail: roberto.anthunes@gmail.com

**Adriano Luís Heck Simon**

Graduação em Geografia – UFPel; Mestrado e Doutorado em Geografia – UNESP/Rio Claro  
Professor Associado III na Universidade Federal de Pelotas  
E-mail: adriano.simon@ufpel.edu.br

**Gracieli Trentin**

Graduação em Geografia (Licenciatura Plena) – UFSM; Mestrado em Geografia – UNESP/Rio Claro; Doutorado em Geografia – Unicamp  
Docente do Instituto de Oceanografia – FURG  
E-mail: gracieli.trentin@gmail.com

## RESUMO

A geodiversidade é reconhecida como a diversidade abiótica de uma determinada paisagem e sua avaliação é possível a partir de métodos quantitativos, qualitativos e quali-quantitativos. Dentro da perspectiva quantitativa, as metodologias de avaliação por meio de índices ganham destaque, pois permitem a identificação de áreas onde a geodiversidade possui alta variabilidade espacial de seus elementos (geologia, geomorfologia, hidrografia e pedologia). O objetivo do presente trabalho é propor e discutir ajustes metodológicos para a obtenção do índice de geodiversidade para o município de São Lourenço do Sul (Brasil). Assim, através da aplicação metodológica de Forte *et al.* (2018) foi possível a obtenção de um índice de geodiversidade para a área de estudo. Após a obtenção dos resultados iniciais derivados da quantificação da geodiversidade foram realizados trabalhos de campo, onde foi verificada a necessidade de ajustes ao método de mensuração utilizado, em especial nas variáveis geologia, geomorfologia e hidrografia. Os ajustes destas variáveis se deram a partir da diferenciação das condições abióticas entre a Unidade da Paisagem Planalto e Unidade da Paisagem Planície. Estas diferenciações geram distintas respostas nas variáveis que compõe o índice de geodiversidade. Os resultados evidenciaram que os ajustes metodológicos permitiram a obtenção de produtos cartográficos mais coerentes com a realidade físico-ambiental do município de São Lourenço do Sul, reforçando a importância do trabalho de campo, principalmente nos aspectos que compreendem a verificação e escolha adequada das variáveis a serem utilizadas, bem como nas ferramentas de processamento em ambiente SIG. O índice de geodiversidade pode orientar na tomada de decisão voltada à gestão territorial, assim evidenciando a importância destes produtos cartográficos, baseados em variáveis que representam o mais próximo da realidade da área a ser estudada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão territorial, Elementos abióticos, Avaliação quantitativa, Sistema de Informação Geográfica, Geoprocessamento.

## METHODOLOGICAL ADJUSTMENT IN VARIABLES FOR OBTAINING THE GEODIVERSITY INDEX IN THE MUNICIPALITY OF SÃO LOURENÇO DO SUL (BRAZIL)

### ABSTRACT

Geodiversity is recognized as the abiotic diversity of a particular landscape, and its assessment is possible through quantitative, qualitative, and qualiquantitative methods. Within the quantitative perspective, assessment methodologies using indices stand out, as they allow the identification of areas where geodiversity exhibits high spatial variability of its elements (geology, geomorphology, hydrography, and pedology). The objective of this study is to propose and discuss methodological adjustments for obtaining the geodiversity index for the municipality of São Lourenço do Sul (Brazil). Thus, through the methodological application of Forte et al. (2018), it was possible to obtain a geodiversity index for the study area. After obtaining the initial results derived from the quantification of geodiversity, fieldwork was conducted, where the need for adjustments to the measurement method used was verified, especially in the variables of geology, geomorphology, and hydrography. The adjustments to these variables were made based on the differentiation of abiotic conditions between the Plateau Landscape Unit and the Plain Landscape Unit. These differentiations generate distinct responses in the variables that compose the geodiversity index. The results showed that methodological adjustments allowed the generation of cartographic products more coherent with the physical-environmental reality of the municipality of São Lourenço do Sul, reinforcing the importance of fieldwork, especially in aspects that involve the verification and proper selection of variables to be used, as well as in the tools for processing in GIS environment. The geodiversity index can guide decision-making aimed at territorial management, thus highlighting the importance of these cartographic products, based on variables that represent the closest to the reality of the area under study.

**KEYWORDS:** Territorial management, Abiotic elements, Quantitative assessment, Geographic Information System, Geoprocessing.

### INTRODUÇÃO

A geodiversidade pode ser considerada como o substrato que permite a vida na Terra, condicionando diversos processos que possibilitam o desenvolvimento da vida humana (Brilha, 2005). Gray (2004; 2013) caracteriza a geodiversidade como a diversidade natural dos elementos geológicos (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (morfologia, topografia e processos físicos), pedológicos e hidrológicos, bem como suas associações, estruturas, sistemas e contribuições para a paisagem.

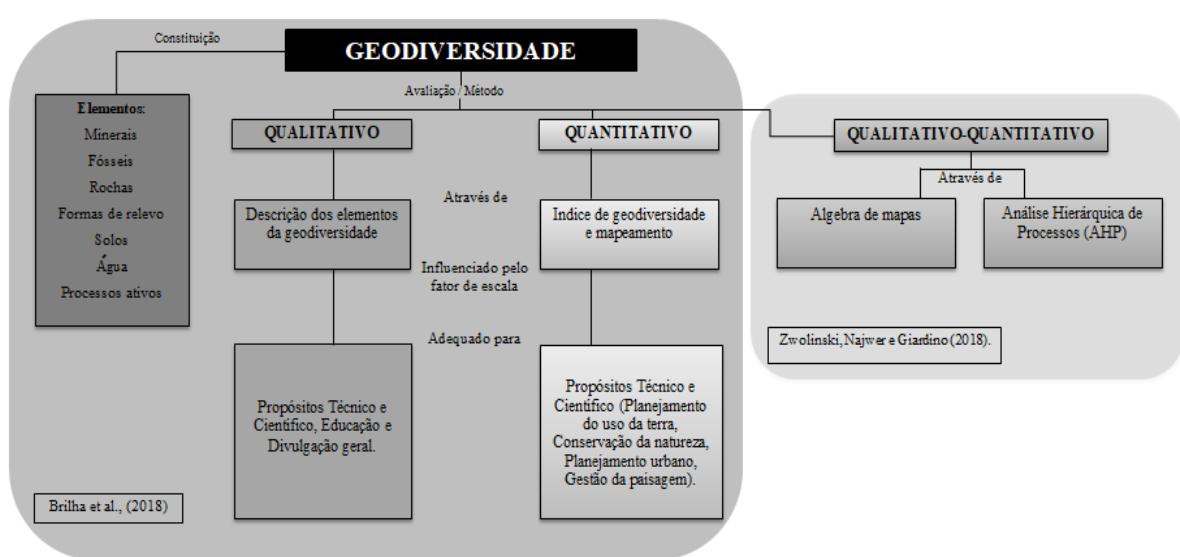
A avaliação da geodiversidade é possível a partir de distintos métodos, a exemplo da atribuição de valores, da descrição e da aplicação de índices. Brilha *et al.* (2018) destacam que existem dois principais métodos para se avaliar a geodiversidade: a avaliação qualitativa e quantitativa. Os autores salientam que estes dois métodos devem apresentar três principais questões, sendo elas: “O quê?” (considerando o tipo de elemento da geodiversidade em uma dada área bem

como sua distribuição espacial); “Por quê” (os objetivos para a sua caracterização, como educação, planejamento territorial, ordenamento territorial, divulgação, entre outros); e “Como?” (sendo o cerne a seleção de metodologias e critérios para caracterizar e avaliar a geodiversidade).

A avaliação qualitativa da geodiversidade geralmente é baseada no arcabouço do conhecimento de especialistas (Brilha *et al.*, 2018). Os autores citados definem que este método de avaliação permite identificar especificidades de uma dada área que a avaliação quantitativa não aborda, ou seja, o método qualitativo demonstra a distribuição espacial dos elementos da geodiversidade e a descrição destes elementos de forma não numérica. Enquanto a avaliação qualitativa busca definir a distribuição espacial dos elementos da geodiversidade, para Carcavilla *et al.* (2007), a avaliação quantitativa mensura a variabilidade espacial destes elementos.

Já Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) apresentam uma terceira tipologia de avaliação da geodiversidade, denominada de qualitativa-quantitativa. Os autores explicam que os métodos são baseados em uma análise mista, com dados quantitativos, principalmente numéricos digitais, e dados de causa-efeito, relacional e explicativo. A Figura 1 demonstra os métodos descritos.

**Figura 1** – Relações dos métodos quantitativo, qualitativo e qualitativo-quantitativo da geodiversidade.



Fonte: Schwanz (2023). Adaptado de Brilha *et al.* (2018) e Zwolinski, Najwer e Giardino (2018).

Partindo dos métodos de avaliação existentes, destaca-se a avaliação quantitativa da geodiversidade, a qual toma por base um conjunto de parâmetros numéricos e indicadores para detectar a diversidade de características dos elementos da geodiversidade em uma dada área (BRILHA *et al.*, 2018). Neste contexto, podem ser citadas pesquisas desenvolvidas por autores

como Serrano e Ruiz-Flaño (2007), Hjort e Luoto (2010), Pereira *et al.* (2013), Silva *et al.* (2013) e Forte *et al.* (2018).

Forte *et al.* (2018) propõem que a avaliação quantitativa da geodiversidade seja obtida a partir da sobreposição de dados espaciais dos elementos abióticos da natureza, com foco nas variáveis geologia, geomorfologia, recursos hídricos e pedologia. Com esta sobreposição, surgem novas geometrias a partir das quais são criadas feições pontuais, denominadas de centróides. A geração destes centróides permite obter a *Densidade de Kernel*, método que consiste no processo de interpolação das feições pontuais para estimar os valores em áreas que não possuam informação. Com isto, tem-se uma nova camada de informação, do tipo matricial, cuja reclassificação representa o índice de geodiversidade.

Alguns trabalhos já replicaram a metodologia proposta por Forte *et al.* (2018), como Soares Filho (2019) e Fernandes e Costa (2021). Soares Filho (2019) aplicou o método de Forte *et al.* (2018) no Parque Estadual da Pedra Branca no Rio de Janeiro - RJ. O autor utilizou as variáveis litoestratigrafia, geomorfologia, pedologia, hidrografia e estruturas geológicas para composição dos parâmetros responsáveis por gerar o índice de geodiversidade e concluiu que o produto se mostrou coerente e adequado à realidade da área. Entretanto, ressaltou a possibilidade da implementação de variáveis morfométricas (declividade, aspecto e curvatura).

No Parque Estadual Cunhambebe, localizado no Rio de Janeiro, Fernandes e Costa (2021) aplicaram o método de Forte *et al.* (2018) utilizando as variáveis de estrutura geológica, litologia, rede de drenagem, pedologia e geomorfologia. Ressalta-se que as variáveis utilizadas possuíam distintas escalas cartográficas, desde 1:25.000 até 1:400.000. Com o resultado, os autores argumentaram que a metodologia para obtenção do Índice de Geodiversidade mostrou-se satisfatória, permitindo identificar que mais de 50% da área possui classes de média a muito alta geodiversidade.

As variáveis geologia, geomorfologia, pedologia e recursos hídricos são fundamentais na avaliação quantitativa da geodiversidade, uma vez que são os parâmetros responsáveis por controlar a variabilidade dos elementos abióticos presentes em uma área (Forte *et al.*, 2018). Cada variável temática pode ser analisada através dos distintos elementos abióticos que a compõe. Por exemplo, a variável geologia pode conter dados de litologia e lineamentos, a geomorfologia pode considerar as unidades do relevo e a altimetria, a pedologia pode ser avaliada a partir das unidades dos solos e nos recursos hídricos, a hidrografia pode ser compreendida a partir da distribuição espacial das massas d'água, das áreas úmidas e da hidrogeologia.

Sendo estes dados os controladores da variabilidade abiótica de uma dada área, invariavelmente influenciarão no índice de geodiversidade. Uma das principais ferramentas auxiliares na obtenção de índices de geodiversidade a partir das variáveis supracitadas, é o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Simon e Trentin (2018) destacam o positivo aumento, nos últimos anos, de estudos que utilizam métodos quantitativos de avaliação da geodiversidade aliados ao SIG. Entretanto, para isso, necessita-se de uma base de dados georreferenciada, e, preferencialmente, de mesma escala.

Brilha *et al.* (2018) destacam a importância da precisão e detalhamento dos dados para avaliar a geodiversidade. A utilização de informações espaciais em uma escala ampla pode resultar na perda de informações importantes sobre as diferentes características geológicas, pedológicas, geomorfológicas e hidrográficas presentes na área. Por outro lado, informações espaciais em uma escala muito detalhada podem ocasionar um superdimensionamento de informações e dificultar a análise e interpretação dos dados, além de gerar resultados incoerentes, que não representam adequadamente a realidade da área de estudo.

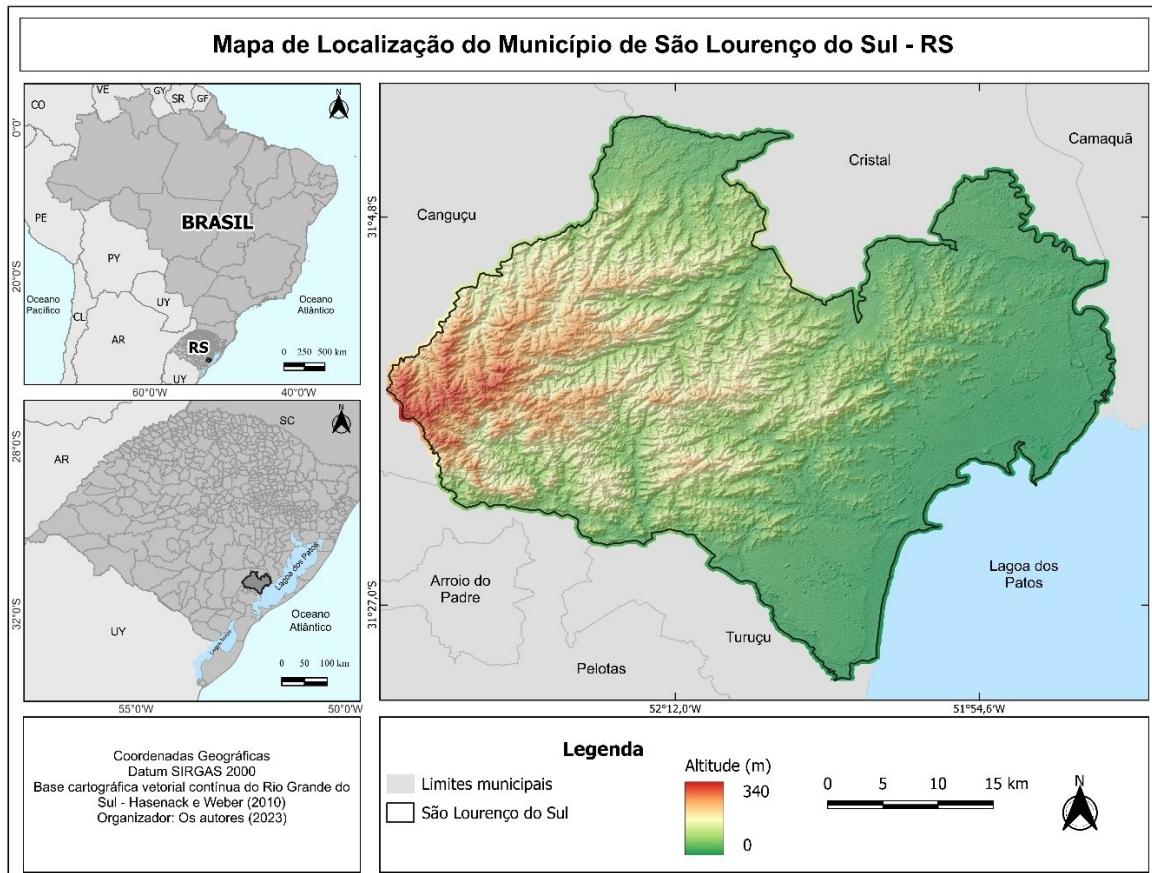
Assim, o resultado da elaboração de um índice de geodiversidade depende tanto da escolha adequada das variáveis temáticas que serão utilizadas, bem como de suas escalas. A compreensão prévia da dinâmica físico-ambiental da área de estudo tende a auxiliar no processo de seleção das variáveis que serão utilizadas para compor o índice de geodiversidade, permitindo uma melhor representação da realidade e das particularidades de cada território.

Diante destas considerações, o objetivo deste trabalho foi propor e discutir ajustes metodológicos à proposta de Forte *et al.* (2018), utilizada na obtenção do índice de geodiversidade para o município de São Lourenço do Sul (Brasil). Tais proposições e discussões foram subsidiadas pelos trabalhos de campo de reconhecimento e de validação de resultados parciais na área em estudo durante a primeira etapa de desenvolvimento da avaliação quantitativa da geodiversidade, e se mostraram fundamentais para o progresso da pesquisa à qual se vincula esse artigo.

## ÁREA DE ESTUDO

O município de São Lourenço do Sul (Figura 2) se localiza na região centro sul do Estado do Rio Grande do Sul, a aproximadamente 200 quilômetros da capital do Estado, Porto Alegre. Localizado na margem oeste da Lagoa dos Patos, o município possui uma área de 2.036km<sup>2</sup>.

**Figura 2** – Localização do Município de São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil.

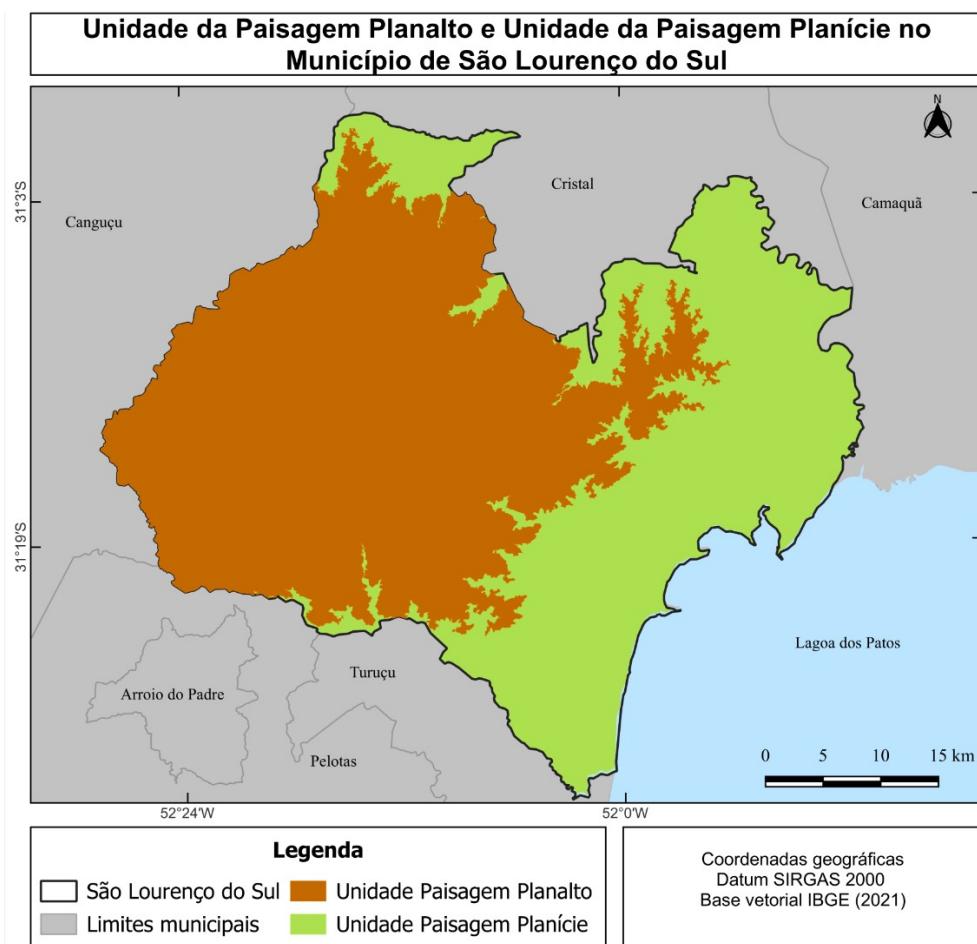


Fonte: Os autores (2023).

Schwanz (2023) definiu, a partir de uma adaptação de Lima (2006), duas unidades da paisagem para o município de São Lourenço do Sul: a Unidade da Paisagem Planalto e Unidade da Paisagem Planície (Figura 3).

A Unidade da Paisagem Planalto compreende a área do Planalto Sul Rio-Grandense, que constitui a estrutura mais antiga do estado do Rio Grande do Sul, formada por rochas graníticas do período Pré-cambriano (Sodré *et al.*, 2021). Os granitos que ocorrem nesta unidade de paisagem apresentam um elevado nível de resistência aos processos intempéricos (Schwanz *et al.*, 2023), dando origem a argissolos vermelho-amarelos, característicos de regiões com relevo accidentado (IBGE, 2021). Nesta unidade de paisagem predominam altitudes que variam de 100 metros a 400 metros, com intensos processos de dissecação fluvial e uma grande heterogeneidade de relevos (Suertegaray; Guasselli, 2012).

**Figura 3** – Localização das Unidades da Paisagem no Município de São Lourenço do Sul.



Fonte: Schwanz (2023)

7

A Unidade da Paisagem Planície no município de São Lourenço do Sul, compreende a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). A Unidade possui como característica uma vasta extensão de terras baixas com relevo plano, com altitudes podendo chegar até 50 metros. São verificadas grandes extensões de áreas úmidas e um grande corpo lagunar, a Lagoa dos Patos. A PCRS tem sua gênese ligada aos máximos regressivos e transgressivos do Oceano Atlântico durante o Quaternário (Sistema Barreiras Lagunas I, II, III, IV) que originaram bolsões que foram sendo preenchidos pelos sedimentos trazidos das áreas mais elevadas pertencentes à Unidade da Paisagem Planalto (Tomazelli; Villwock, 2000). A Unidade da Paisagem Planície ainda é caracterizada por possuir a predominância do planossolo háplico (IBGE, 2021).

Estas características físicas do ambiente influenciaram o processo de ocupação. Costa (1984) relata que a gênese de ocupação do município ocorreu no final do século XVIII, quando o governo imperial concedeu grandes extensões de terras, localizadas sobretudo na Unidade da

Paisagem Planície, para militares luso-brasileiros. A topografia plana da região, complementada por uma rica rede de drenagem e a proximidade com um grande corpo lagunar, influenciaram estes colonizadores a praticarem a criação de gado (pecuária) (Costa, 1984; Schwanz, 2023).

Já a Unidade da Paisagem Planalto, inicialmente não explorada por possuir um relevo movimentado, que dificultava a implementação de grandes pastagens para a criação do gado, começou a ser ocupada em meados de 1850. Esta ocupação se deu a partir de uma nova perspectiva do governo imperial para com o fomento da agricultura. Assim, imigrantes vindos do norte da Europa, mais especificamente da Pomerânia, região localizada entre a Alemanha e a Polônia, trouxeram consigo um *background* de práticas agrícolas caracterizadas pelo cultivo de batata inglesa, feijão, hortaliças e milho (Costa, 1984; Salamoni; Waskiewicz, 2013; Schwanz, 2023).

As características físico-ambientais das duas unidades de paisagem presentes no município de São Lourenço do Sul geram diferentes respostas dos elementos abióticos tidos como variáveis de entrada para a obtenção do índice de geodiversidade, objeto de estudo do presente trabalho. Nesse sentido, a seguir serão apresentados os procedimentos desenvolvidos para a obtenção do índice de geodiversidade para a área em estudo.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O índice de geodiversidade para a área de estudo foi gerado conforme a proposição de Forte *et al.* (2018), utilizando dados cartográficos referentes às variáveis geologia, geomorfologia, pedologia e recursos hídricos (Quadro 1), organizadas e processadas em ambiente SIG, com uso do software QGIS 3.22. A variável hidrografia foi gerada, inicialmente, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) a fim de viabilizar sua hierarquização pelo método de *Strahler* em conformidade com a proposta dos autores citados.

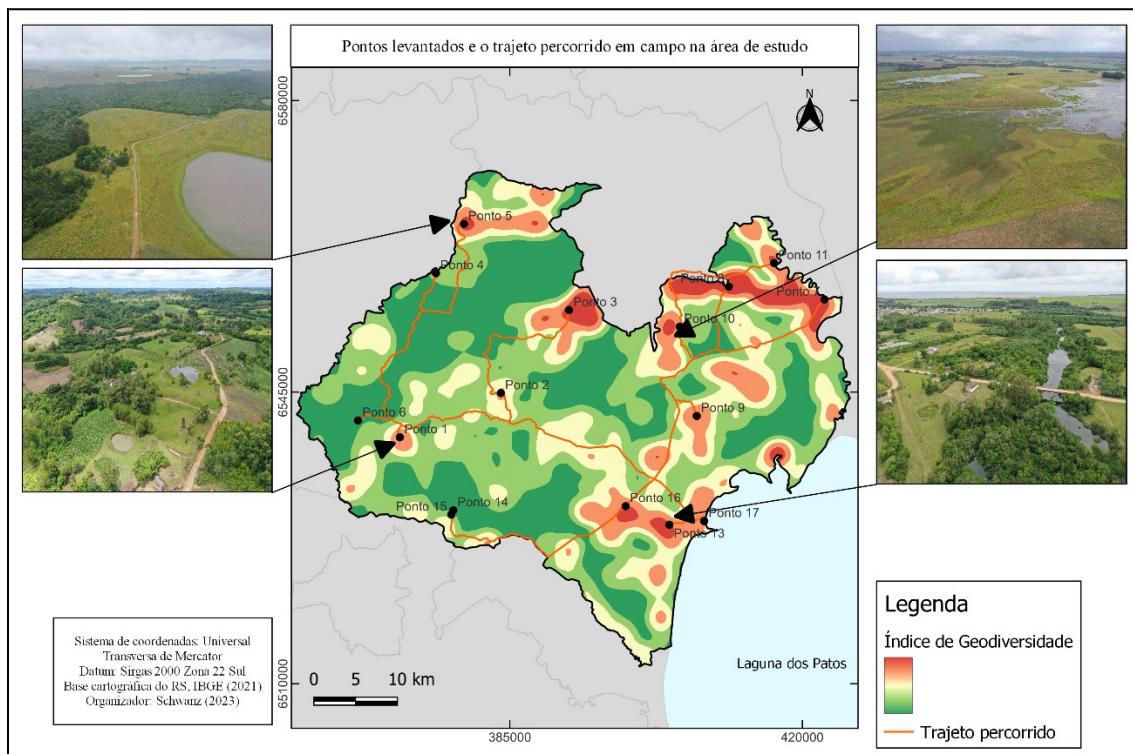
**Quadro 1** - Materiais cartográficos inicialmente utilizados para obtenção do índice de geodiversidade

<b>Variáveis temáticas</b> (Forte et al. 2018)	<b>Material</b>		<b>Escala</b>	<b>Fonte</b>
	<b>Geologia</b>	Litologia	1:250.000	IBGE
	<b>Geomorfologia</b>	Unidades do Relevo	1:250.000	IBGE
	<b>Pedologia</b>	Unidades de Solos	1:250.000	IBGE
	<b>Recursos Hídricos</b>	Hidrografia	MDE 30 m	USGS/SRTM
		Massas d'água	1:250.000	FEPAM/RS
		Áreas Úmidas	1:250.000	FEPAM/RS
		Hidrogeologia	1:250.000	IBGE

Fonte: Os autores (2023).

Após obter os resultados iniciais do índice de geodiversidade para o município de São Lourenço do Sul foi realizado um trabalho de campo com a finalidade de avaliar e validar tais resultados, considerando as variáveis utilizadas para sua obtenção. Durante o planejamento das áreas a serem verificadas no trabalho de campo, foram elencados 17 pontos de investigação (Figura 4), distribuídos nos locais inseridos nas distintas classes do índice de geodiversidade, ou seja, nas áreas em que os resultados evidenciaram muito baixos, baixos, médios e, sobretudo, elevados valores no índice de geodiversidade (alto e muito alto).

**Figura 4** – Localização do trajeto e seus respectivos pontos.



Fonte: Os autores (2023).

10

Em cada ponto de campo, foi realizada uma análise integrada, combinando sobrevoos com drone para capturar e verificar a interação entre os componentes físicos da paisagem, bem como observações diretas das características e do comportamento das variáveis em solo. Isto permitiu uma avaliação das especificidades de cada local, possibilitando a interpretação das dinâmicas e condições da paisagem. Foi identificado que em determinadas áreas de elevada geodiversidade (Alta e Muito Alta Geodiversidade), as variáveis se manifestaram de forma a não abarcar as características da realidade. Enquanto áreas de Muito Baixa, Baixa e Média Geodiversidade possuíam, *in loco*, uma grande interação.

Os resultados derivados deste trabalho de campo evidenciaram a necessidade de ajustes nas estratégias de mensuração das variáveis hidrografia, geologia e geomorfologia, pois os resultados iniciais oriundos do índice de geodiversidade apresentaram correspondências assimétricas à manifestação paisagística dos complexos abióticos verificados em campo, sobretudo em áreas com presença marcante de quedas d'água, afloramentos rochosos e locais com grande complexidade frente à movimentação do relevo.

Nesse sentido, foram considerados necessários ajustes metodológicos, realizados através da incorporação de novos dados cartográficos temáticos na quantificação da geodiversidade. Tais

ajustes envolveram a inserção de informações espaciais referentes às falhas/lineamentos na variável temática geologia; a incorporação das curvas de nível/altimetria na variável temática geomorfologia e, na variável temática hidrografia, a utilização de informações espaciais correspondentes à rede de drenagem disponibilizada pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luis Roessler (FEPAM/RS).

Todos os dados cartográficos utilizados no processo de ajuste metodológico possuem escala de 1:250.000, conforme ilustra o Quadro 2.

**Quadro 2** - Materiais cartográficos incorporados para obtenção do índice de geodiversidade no processo de ajuste metodológico proposto.

	Material	Escala	Fonte	
Variáveis temáticas Ajustes de Forte <i>et al.</i> (2018)	Geologia	Litologia	1:250.000	IBGE
		Falhas/lineamentos*	1:250.000	IBGE
Geomorfologia		Unidades do Relevo	1:250.000	IBGE
		Curvas de Nível/altimetria*	1:250.000	FEPAM/RS
Pedologia		Unidades de Solos	1:250.000	IBGE
Recursos Hídricos		Hidrografia*	1:250.000	FEPAM/RS
		Massas d'água	1:250.000	FEPAM/RS
		Áreas Úmidas	1:250.000	FEPAM/RS
		Hidrogeologia	1:250.000	IBGE

\*Variáveis adicionadas e/ou modificadas após constatações em campo.

Fonte: Os autores (2023).

Após os ajustes nas variáveis que compreendem a metodologia de pesquisa foi obtido um novo mapa para o índice de geodiversidade, o qual foi validado em trabalho de campo e utilizado como subsídio na sequência da pesquisa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

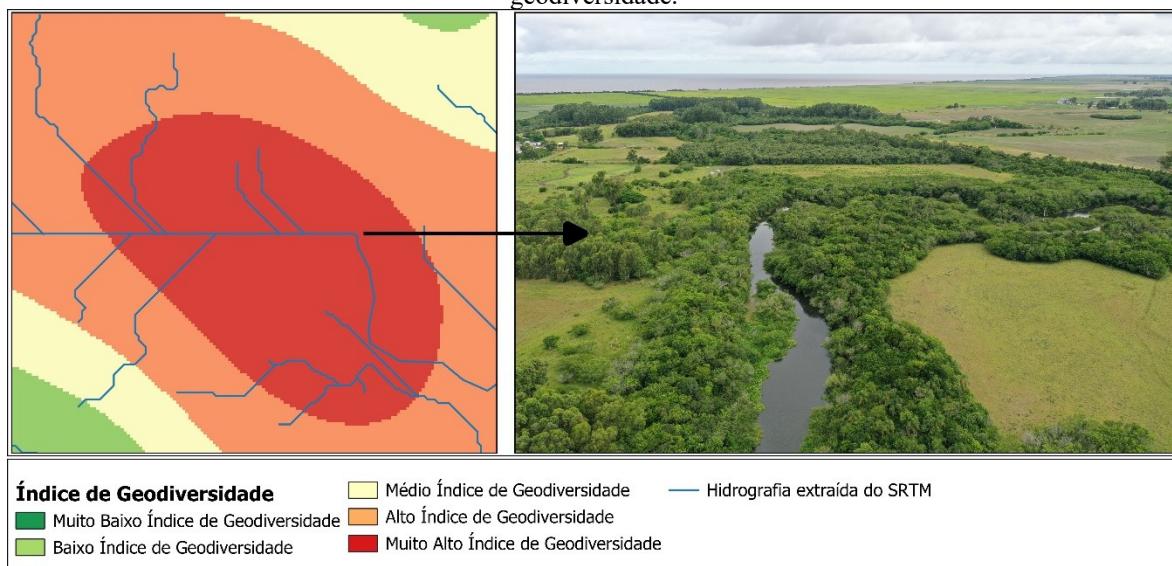
A partir da aplicação do método de Forte *et al.* (2018) e após a avaliação do resultado em campo, verificou-se que determinadas características dos elementos abióticos presentes na paisagem da área de estudo não foram abarcadas ou foram superdimensionadas, o que evidenciou a necessidade de ajustes metodológicos. Nas investigações que objetivam a avaliação quantitativa da

geodiversidade por meio de índices são comuns as iniciativas de adequação metodológica (Lopes; Simon, 2021), geralmente pautadas nas características das áreas de aplicação, como o contexto ambiental onde estão inseridas, a escala de abrangência (local, regional ou global), a disponibilidade de dados cartográficos adequados, ou ainda, os critérios utilizados na quantificação das variáveis temáticas. A seguir serão discutidos os principais ajustes propostos para a obtenção do índice de geodiversidade para o município de São Lourenço do Sul com base nos trabalhos de campo.

## VARIÁVEL HIDROGRAFIA

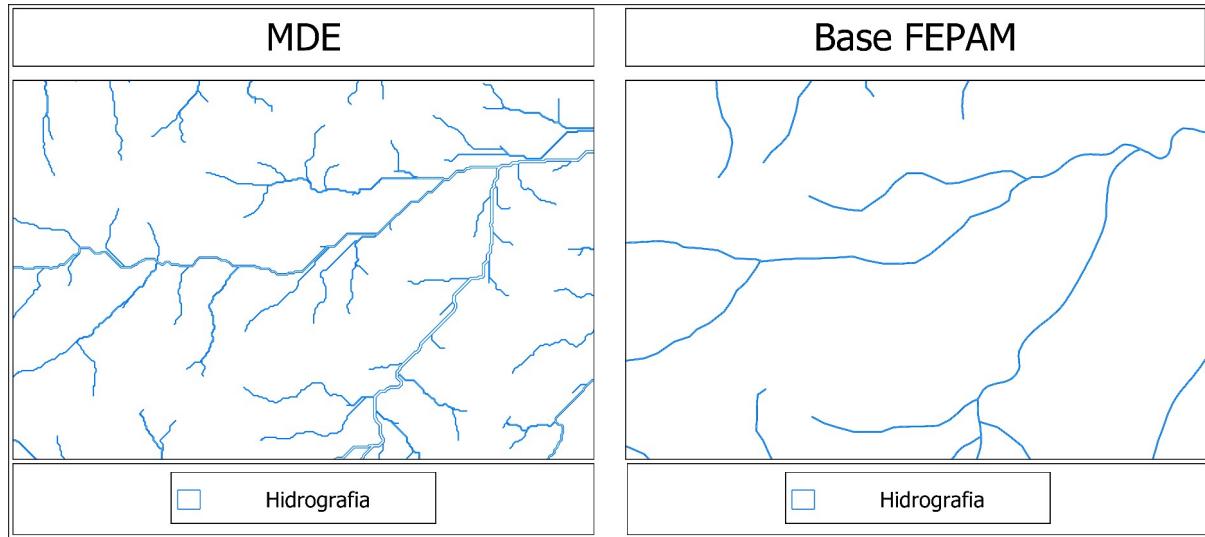
Diante dos resultados preliminares oriundos do índice de geodiversidade, foi identificado em campo o superdimensionamento da variável hidrografia em relação aos demais elementos abióticos. Essa maior influência ocasionada pela variável hidrografia está relacionada à origem do dado cartográfico, extraído do processamento de um MDE (resolução de 30 metros), que resultou em uma discrepância na escala da hidrografia em relação à escala das demais variáveis temáticas utilizadas (1:250.000) (Quadro 1), pois a medida em que o dado possui maior detalhe, maior será sua interação, proporcionalmente maior o índice de geodiversidade. Esse superdimensionamento da hidrografia pode ser verificado a partir do exemplo de um dos pontos de campo considerado com elevado índice de geodiversidade (Figura 5).

**Figura 5** – Representação do superdimensionamento da variável hidrografia em uma área de elevado índice de geodiversidade.



Diante destas constatações, e buscando o equilíbrio entre as informações espaciais, optou-se pelo uso dos dados vetoriais de hidrografia em escala de 1:250.000, homogeneizando a escala de trabalho e a influência dessa variável no índice de geodiversidade (Quadro 2, Figura 6).

**Figura 6** – Comparação dos resultados de produtos cartográficos vetoriais da rede de drenagem obtidos a partir das fontes mencionadas.



Fonte: Os autores (2023).

13

Para se obter o índice de geodiversidade, seguindo o método de Forte *et al.* (2018), é fundamental que todos os *layers* estejam em formato poligonal, sendo necessário um procedimento na rede hidrográfica, uma vez que a mesma compreende o formato de linha. Ao se utilizar este dado vetorial para a variável hidrografia oriunda da base da FEPAM, perde-se a possibilidade de classificá-la a partir do método de hierarquia fluvial de *Strahler*, de forma automatizada. Desta forma, para a criação do polígono correspondente à hidrografia, partiu-se da compreensão de que a área de abrangência da hidrografia e suas características é influenciada pela incisão do talvegue do curso hídrico. Portanto, a influência da hidrografia se estende desde o leito principal do curso hídrico limitando-se até o leito maior deste curso. Após verificações em campo, constatou-se uma média geral no que se refere a largura do leito maior da hidrografia na área de estudo. Com base nessa constatação, adotou-se uma largura padrão de 20 metros, utilizando a ferramenta *buffer* para criar um raio de 10 metros em cada lado da rede de drenagem.

## VARIÁVEIS GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Outra constatação em campo foi a de que em áreas reconhecidas por possuírem elevada variabilidade abiótica (principalmente na porção inserida na Unidade da Paisagem Planalto), e que

abarcam relevantes feições geomorfológicas, algumas das quais com representatividade geopatrimonial (caso de quedas d'água e grandes afloramentos rochosos), não obtiveram valores do índice de geodiversidade representativos. Este fato possivelmente está relacionado ao nível de detalhamento cartográfico, ou seja, informações com escala de 1:250.000 que não foram suficientes na apreensão das variáveis temáticas geologia e geomorfologia neste setor da área de estudo.

Com o objetivo de uma representação mais coerente com a realidade, verificou-se a possibilidade de adição dos vetores referentes às falhas/lineamentos para a composição da variável temática geologia, bem como as curvas de nível/altimetria para a composição da variável temática geomorfologia.

Assim como a hidrografia, as falhas/lineamentos possuem característica de linha (Quadro 2). Desta forma, tem-se a necessidade de representá-la no formato de polígonos. Para realizar essa transformação de linha para polígono, utilizou-se o procedimento da ferramenta *buffer*. A largura do *buffer* para as linhas das falhas/lineamento da área em estudo definida com base no estudo de Paganotto (2022) realizado nos municípios de Pelotas e Arroio do Padre para a identificação de locais preferenciais para a ocorrência de quedas d'água. A autora destacou que nos municípios citados as quedas d'água costumam ocorrer em canais fluviais presentes em compartimentos de fundos de vale que abrangem cerca de 100 metros de largura. Por esse motivo, e considerando que as condições ambientais dos municípios de Pelotas e Arroio do Padre são semelhantes às de São Lourenço do Sul, foi adotado um *buffer* de 50 metros para cada margem das linhas que representam as falhas/lineamentos, perfazendo um total de 100 metros de largura, para a formação do polígono nessa feição.

Da mesma forma, as curvas de nível/altimetria (linha) necessitaram da aplicação da ferramenta *buffer* (polígono) para viabilizar a sobreposição dos dados. Para isso, a fim de demonstrar apenas a expansão e retração das linhas que representam a rugosidade do terreno e suas transições no nível altimétrico, e não propriamente a largura da influência deste dado, assumiu-se um *buffer* padrão para cada linha, de 2,5 metros, totalizando 5 metros de largura total.

A inserção destas variáveis, falhas/lineamento e curvas de nível/altimetria contribuíram para um melhor detalhamento e resultados com maior compatibilidade e homogeneidade da diversidade abiótica presente na área de estudo. Isto porque as mesmas possuem influência nas morfologias do relevo e nos processos que atuam na estrutura das paisagens verificadas em campo, seja pelos agentes endógenos ou exógenos, pontos chave para a compreensão da área de estudo.

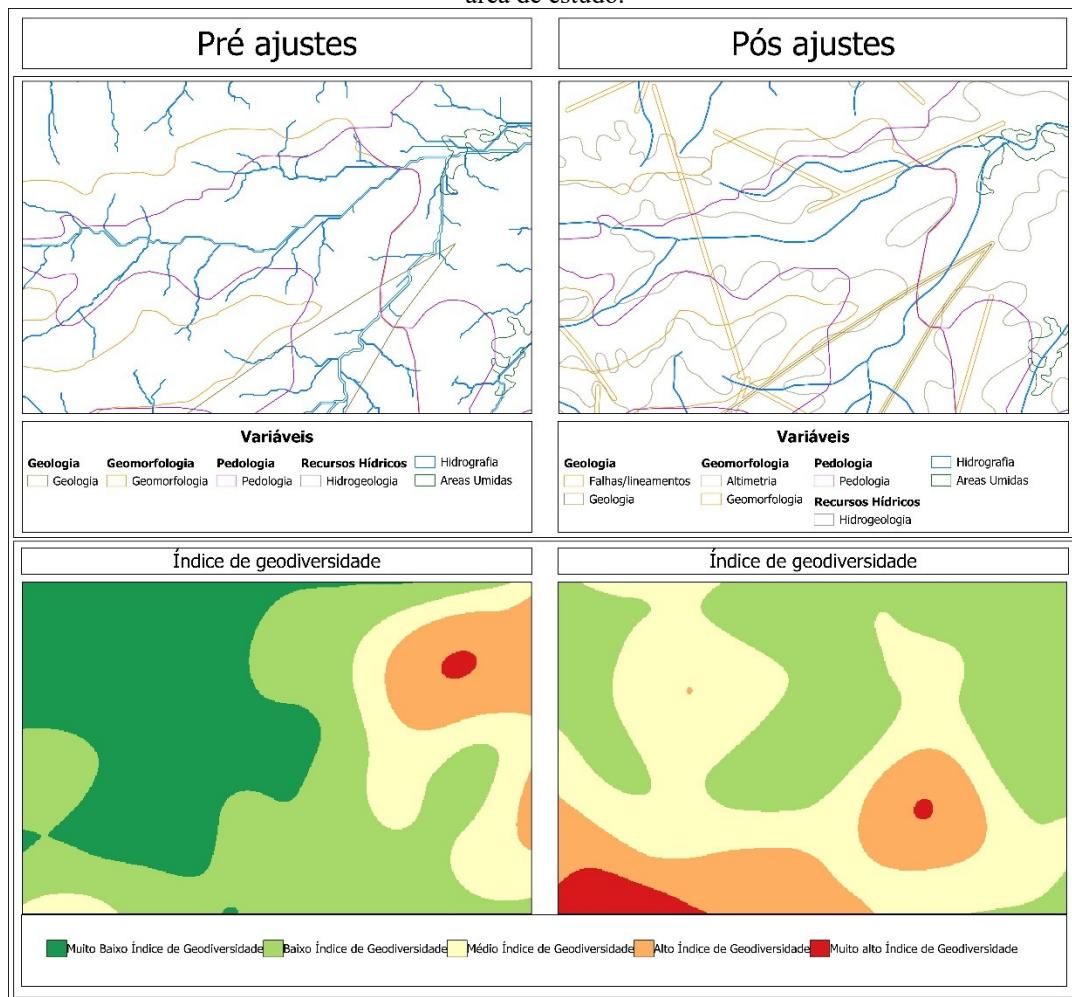
O procedimento de ajuste metodológico por meio da integração de novas variáveis permitiu a criação de modelos cartográficos que buscam maior aproximação com a realidade. Isto é corroborado a partir da análise em campo, quando verificou-se que áreas como as quedas d'água não estavam sendo abarcadas pelo método. Assim, ao introduzir os dados de falhas/lineamentos, foi possível representar estas áreas, pois muitas quedas d'água (elementos complexos da geodiversidade com valor geopatrimonial) estão ligadas ao ruído transversal que as falhas/lineamentos representam no perfil longitudinal de um canal fluvial. O mesmo ocorreu na introdução das curvas de nível/altimetria, sendo que as mesmas potencializaram a representação de locais onde existia uma diversidade nas feições geomorfológicas não captadas no momento da obtenção da primeira versão do índice de geodiversidade.

## **RESULTADOS DOS AJUSTES PARA A CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE**

A aplicação e os ajustes metodológicos ao método utilizado para obtenção do índice de geodiversidade indicaram uma melhor representação da realidade para a área de estudo. A Figura 6 demonstra como as variáveis e o índice de geodiversidade, pré e pós ajustes, se comportaram em um recorte da área de estudo.

A opção pela alteração dos dados de entrada da variável temática hidrografia, utilizando-se a base da FEPAM, se mostrou válida, pois possibilitou o equilíbrio de detalhamento em relação às demais variáveis. A inclusão dos dados de falhas/lineamentos e curvas de nível permitiu uma melhor e mais condizente representação das características geológico-geomorfológicas que importam na manifestação paisagística da geodiversidade da área de estudo.

**Figura 6** – Comparação dos cenários pré e pós ajustes das variáveis que compuseram o índice de geodiversidade na área de estudo.



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

16

Os ajustes se mostraram válidos no que tange à aplicação do método de Forte *et al.*, (2018) na área de estudo, principalmente para melhor representar a realidade. A inserção dos dados de altimetria e falhas/lineamentos trouxe um maior detalhamento, principalmente no que se refere as sinuosidades das cotas e a retração/expansão dos limites que dividem as duas Unidades da Paisagem (Unidade da Paisagem Planalto e Unidade da Paisagem Planície) que anteriormente não estavam sendo expressas. Ao apresentar a hidrografia com os segmentos de mesma largura e com a escala de 1:250.000, o produto se mostrou mais adequado, uma vez que a representação anterior era resultado de uma extração de um MDE, que possui um grande detalhamento comparado com as demais variáveis utilizadas. Assim, a partir da alteração do dado de hidrografia, os cruzamentos com as demais variáveis respeitaram a dinâmica e os arranjos dos elementos abióticos visualizados em campo, sem mais o superdimensionamento da variável.

Desta forma, destaca-se a importância da aplicação deste método adaptado, principalmente em regiões contíguas à área de estudo, que se encontram em zonas de transição entre o Planalto Sul-rio-grandense e a Planície Costeira do Rio Grande do Sul, com reflexos sobre os elementos abióticos que compõem a geodiversidade (sobretudo geologia e geomorfologia). A medida em que estes refinamentos são impostos, seus detalhes maiores subsidiam os gestores nas tomadas de decisão, seja pela localização espacial dos elementos abióticos ou pela variabilidade, expressadas através do índice de geodiversidade.

## CONCLUSÕES

A realização do trabalho de campo foi fundamental para identificar a necessidade de ajustes metodológicos para obter o índice de geodiversidade no município de São Lourenço do Sul, a partir da proposta de Forte *et al.* (2018), com escala de dados de 1:250.000. Estes ajustes possibilitaram a adequada representação da variabilidade espacial dos elementos abióticos considerando a manifestação paisagística desses elementos na área de estudo.

Considerando que os dados utilizados no método são os controladores e ditam a variabilidade abiótica de uma dada área, invariavelmente influenciando no índice de geodiversidade, o ajuste mostrou-se necessário. Os resultados obtidos demonstraram que para a hidrografia, foi válida a utilização de dados com o mesmo nível de detalhamento das demais variáveis temáticas a fim de não ocorrer um superdimensionamento do dado, sobretudo nas superfícies localizadas na unidade de paisagem planície, local onde naturalmente ocorrem maiores densidades de drenagem. Ainda, uma vez que o método inicial não abarcou determinadas características da área de estudo, sejam quedas d'água ou feições geomorfológicas com relevante expressão paisagística, os ajustes a partir do incremento das falhas/lineamentos na variável temática geologia e curvas de nível na variável temática geomorfologia tornam-se necessários para representar melhor a realidade.

Destaca-se a importância da proposição e realização de estudos de campo, uma vez que esses permitiram a identificação de novos elementos e processos que não foram inicialmente considerados em uma avaliação preliminar realizada em gabinete. Além disso, os trabalhos de campo contribuíram para a obtenção de informações mais detalhadas sobre a complexidade abiótica, desde sua distribuição espacial como a interação entre os elementos, possibilitando a representação desses elementos em um ambiente SIG de acordo com as características específicas da área de estudo. Salienta-se também que o estudo empregou dados de entrada (variáveis abióticas)

com escalas de 1:250.000. Visto isso, seu resultado deve ser analisado levando em consideração sua escala.

Ao utilizar dados em uma escala cartográfica maior e mais detalhada, obtém-se uma representação mais precisa das características ambientais, que podem não ser capturadas por dados em escalas menores, como 1:250.000. Embora tais características nem sempre se manifestem diretamente na paisagem, elas desempenham um papel significativo no dinamismo ambiental. No entanto, é importante enfatizar a necessidade de trabalhar com dados de mesma escala para evitar a superestimação ou subestimação de grupos de elementos abióticos, mesmo em análises de maior detalhamento. Porém, a dificuldade de obtenção ou a inexistência de dados (variáveis abióticas) com maior escala cartográfica segue sendo um entrave.

Por fim, produtos como o índice de geodiversidade, derivado do ajuste do método, podem orientar tomadas de decisões na gestão territorial, seja a partir da identificação das ameaças à geodiversidade, de locais suscetíveis a impactos, na seleção de áreas prioritárias para conservação ou na identificação de locais de interesse geopatrimonial. Ainda, auxiliam na proposição de estratégias para a aplicação e ampliação das políticas públicas, tanto de âmbito municipal, estadual, federal ou internacional, que permeiam o uso sustentável dos recursos naturais, seja incentivando a agroecologia, o geoturismo a geoeducação ou no incentivo da criação de territórios sustentáveis, a partir da implementação de geoparques.

## REFERÊNCIAS

- BRILHA, J. **Património Geológico e Geoconservação**: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica. Coimbra: Palimage Editores, 2005.
- BRILHA, J.; GRAY, M.; PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P. Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 86, 2018. p.19-28
- CARCAVILLA, L.; LÓPEZ-MARTINÉZ, J.; DURÁN, J.J. **Patrimonio geológico y geodiversidad**: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Cuadernos del Museo Geominero, No. 7, IGME, Madrid. 2007.
- COSTA, J. S. *et al.* **São Lourenço do Sul, cem anos 1884–1984**. Edição comemorativa. São Lourenço do Sul: Prefeitura Municipal, 1984.
- FERNANDES, R. O.; COSTA, V. C. Mapeamento do Índice de Geodiversidade no Parque Estadual Cunhambebe (PEC)-RJ a partir do Método Kernel em Sistema de Informação Geográfica (SIG). In: **Encontro Nacional da ANPAGE**, n. XIV. Anais eletrônicos. Realize Editora. 2021. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/78214>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FORTE, J. P; BRILHA, J.; PEREIRA, D.; NOLASCO, M. Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. **Geoheritage**, v. 10, n. 2, 2018. p. 205-217.

GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature**. In. John Wiley & Sons, LTD. Reino Unido, 2004. p 14-30.

GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature**. 2nd ed. Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Blackwell, 2013.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Ed. 4. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia, 1972.

HJORT, J.; LUOTO, M. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. **Geomorphology**, v. 115, n. 1-2, p. 109-116, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Pedológico**. 1:250.0000. 2021. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/vetores/escala\\_250\\_mil/versao\\_2021](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2021)

LIMA, M. I. F. **Paisagem, terroir e sistemas agrários: um estudo em São Lourenço do Sul**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2006.

LOPES, Â L; SIMON, A, L, H. Índice de geodiversidade para o bioma pampa brasileiro: avaliação metodológica. In: **Encontro Nacional da ANPAGE**, n. XIV. Anais eletrônicos. Realize Editora. 2021.

PAGANOTTO, V. D. **As quedas d'água enquanto geopatrimônio dos municípios de Pelotas e Arroio do Padre: contribuições ao geoturismo na Costa Doce do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2022.

PEREIRA, D. I; PEREIRA, P.; BRILHA, J.; SANTOS, L. Geodiversity Assessment of Parana State (Brazil): An Innovative Approach. **Environmental Management**, v.52, n.3, p. 541-552, setembro. 2013.

SALAMONI, G.; WASKIEWICZ, C. A. Serra dos Tapes: espaço, sociedade e natureza. **TESSITURAS: Revista de Antropologia e Arqueologia**, [s.l.], v.1, n.1, p. 73 -100, 2013.

SCHWANZ, V. B. **Identificação e análise do Índice de Geodiversidade e sua relação com a dinâmica de coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul (RS)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

SCHWANZ, V. B. *et al.* **Identificação de áreas suscetíveis à erosão na Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço, São Lourenço do Sul - RS**. Anais do XV ENANPEGE... Campina Grande: Realize Editora, 2023.

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity: a theoretical and applied concept. **Geographica helvetica**. 62, p. 140-147, 2007.

SILVA, J. P. *et al.* Geodiversity assessment of the Xingu drainage basin. **Journal of Maps**, v. 9, n. 2, p. 254–262. 2013.

SIMON, A. L. H.; TRENTIN, G. A representação espacial da geodiversidade e do geopatrimônio: instrumentos para a geoconservação. In: VIEIRA, A. *et al.* (Org.) **GEOPATRIMÓNIO. Geoconhecimento, Geoconservação e Geoturismo: experiências em Portugal e na América Latina.** Guimarães, UNMINHO, 2018, p. 147-160.

SOARES FILHO, A. R. **Contribuições do geoprocessamento para avaliação quantitativa da geodiversidade: Parque Estadual da Pedra Branca (RJ).** Monografia, Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SODRÉ, M. T. *et al.* **A Geografia da Serra dos Tapes:** natureza, sociedade e paisagem. Ed. UFPel. Pelotas. n. 1, 140p, 2021.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A. Paisagens (imagens e representações) do Rio Grande do Sul. 2012. In: **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. 2. ed. p. 27-38, 2012.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozoico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (eds). **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Edição CIGO/UFRGS, 2000.

ZWOLINSKI, Z.; NAJWER, A.; GIARDINO, M. Methods for Assessing Geodiversity. In: REYNARD, E. BRILHA, J. **Geoheritage: Assessment, Protection, and Management.** Elsevier, p.27 – 52, 2018.