

Avaliação em escala regional da geodiversidade da Aglomeração Urbana do Sul e seus municípios, litoral do Rio Grande do Sul, Brasil

Assessment on a regional scale of the geodiversity of the Southern Urban Agglomeration and its municipalities, Rio Grande do Sul coast, Brazil

Evaluación en escala regional de la geodiversidad de la Aglomeración Urbana del Sur y sus municipios, costa de Rio Grande do Sul, Brasil

Daniel Trespach Porto

<https://orcid.org/0000-0002-8097-4926>

portodt@outlook.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil

Resumo: A compreensão das relações entre os componentes abióticos e destes com o sistema natural, principalmente em zonas costeiras e áreas densamente ocupadas, como aglomerações urbanas, tem-se mostrado importante para subsidiar políticas de conservação, preservação e desenvolvimento regional sustentável. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi a realização de uma avaliação em escala regional da geodiversidade da Aglomeração Urbana do Sul (AUSul), litoral do Rio Grande do Sul, e de seus municípios constituintes, através de um índice de geodiversidade e da ocorrência e distribuição de seus elementos na região. Para construção do índice, foram definidos qualitativamente os elementos abióticos considerados mais relevantes para as características da região e a disponibilidade de dados compatíveis com a escala 1:250.000. Posteriormente, os mesmos foram tratados com métodos de álgebra de mapas, resultando nos mapas dos subíndices relativos à geologia, topografia e geomorfologia, hidrografia e solos por município, e o índice de geodiversidade de cada município e da região. Os resultados indicam os municípios situados no Planalto Sul-Rio-Grandense e na interface com a Planície Costeira com os maiores índices, sendo influenciados pela maior diversidade de unidades geológicas, tipos de relevo, variações altimétricas e de feições hidrográficas. Apesar da significativa ocorrência de grandes áreas úmidas nos municípios da Planície Costeira, seus índices foram os mais baixos. O estudo mostrou-se útil para o entendimento da geodiversidade da AUSul, apontando áreas para estudos em escalas maiores e macrozoneamentos, além da necessidade de complementação com métodos que incorporem características subjetivas da geodiversidade.

Palavras-chave: AUSul, Índice de geodiversidade, Planície Costeira, Planalto Sul-Rio-Grandense, Geoconservação.

Abstract: The understanding of the relationships between abiotic components and these with the natural system, especially in coastal areas and densely occupied areas, such as urban agglomerations, has been important to support policies of conservation, preservation, and sustainable regional development. In this sense, the aim of this study was to carry out an assessment on a regional scale of the geodiversity of the Urban Agglomeration of the South (AUSul), the coast of Rio Grande do Sul, and its constituent municipalities, through a geodiversity index and the occurrence and distribution of its elements in the region. To construct the index, the abiotic elements considered most relevant for the region's characteristics and the availability of data approximately compatible with the 1:250,000 scale was qualitatively defined. Subsequently, they were treated with methods of map algebra, resulting in the maps of the sub-indices related to geology, topography and geomorphology, hydrography and soils per municipality, and the geodiversity index of each municipality and the region. The results indicate the municipalities located on the Sul-Rio-Grandense Plateau and at the interface with the Coastal Plain with the highest indexes, being influenced by the greatest diversity of geological units, relief types, altimetric variations, and hydrographic features. Despite the significant occurrence of large wetland areas in the Coastal Plain municipalities, their indices were the lowest. The study proved to be useful for the understanding of the geodiversity of the AUSul, pointing out areas for studies at larger scales and macro-zoning, in addition to the need for complementation with methods that incorporate subjective characteristics of geodiversity.

Keywords: AUSul, Geodiversity index, Coastal Plain, Sul-Rio-Grandense Plateau, Geoconservation.

Resumen: La comprensión de las relaciones entre los componentes abióticos y éstos con el sistema natural, especialmente en las zonas costeras y las áreas densamente ocupadas, como las aglomeraciones urbanas, ha sido importante para apoyar las políticas de conservación, preservación y desarrollo regional sostenible. En este sentido, el objetivo de este estudio fue realizar una evaluación a escala regional de la geodiversidad de la Aglomeración Urbana del Sur (AUSul), litoral de Rio Grande do Sul, y de los municipios que la componen, a través de un índice de geodiversidad y de la ocurrencia y distribución de sus elementos en la región. Para construir el índice, se definieron cualitativamente los elementos abióticos considerados más relevantes por las características de la región y la disponibilidad de datos aproximadamente compatibles con la escala 1:250.000. Posteriormente, se trataron con métodos de álgebra de mapas, dando como resultado los mapas de los subíndices relacionados con la geología, la topografía y la geomorfología, la hidrografía y los suelos por municipio, y el índice de geodiversidad de cada municipio y de la región. Los resultados indican los municipios situados en la Meseta Sul-Rio-Grandense y en la interfaz con la Planicie Costera con los índices más altos, siendo influenciados por la mayor diversidad de unidades geológicas, tipos de relieve, variaciones altimétricas y características hidrográficas. A pesar de la importante presencia de grandes zonas húmedas en los municipios de la Planicie Costera, sus índices fueron los más bajos. El estudio demostró ser útil para entender la geodiversidad del AUSul, señalando áreas para estudios a escalas mayores y macrozonificación, además de la necesidad de complementación con métodos que incorporen características subjetivas de la geodiversidad.

Palabras clave: AUSul, Índice de Geodiversidad, Planicie Costera, Planalto Sul-Rio-Grandense, Geoconservación.

INTRODUÇÃO

O campo de estudo da geodiversidade tem-se mostrado importante para a compreensão das relações entre os componentes abióticos e desses com o sistema natural como um todo, principalmente em zonas costeiras e áreas densamente ocupadas, como as aglomerações urbanas, podendo servir de subsídio no desenvolvimento de políticas de conservação, preservação e de desenvolvimento regional sustentável.

No Brasil, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei nº 7.881, 1988), no seu Artigo 3º, prevê o zoneamento de usos e atividades na zona costeira, priorizando a conservação e a proteção. Já o Estatuto da Metrópole (Lei nº 13.089, 2015) estabelece normas gerais para o planejamento integrado de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas instituídas no país, como macrozoneamento, delimitação de áreas com restrição à urbanização visando o controle do risco de desastres e a proteção dos patrimônios ambiental e cultural.

A viabilidade da sociedade moderna só foi possível pela diversidade natural não viva do planeta, e mesmo assim raramente esta é devidamente apreciada (Brilha, Gray, Pereira & Pereira, 2018). Segundo Gray (2013), a geodiversidade é um princípio básico para a definição de áreas protegidas, indo além apenas da consideração de aspectos biológicos, sendo útil na conservação e avaliação de recursos naturais abióticos, com a inclusão dos mesmos em políticas de desenvolvimento locais, através de uma perspectiva de planejamento integradora da conservação e da gestão sustentável da natureza.

As primeiras tentativas de conceituar a geodiversidade datam da década de 1990 (Sharples, 1993; 1995; Wiedenbein, 1993). Serrano e Ruiz-Flaño (2007a) a definem como a variabilidade da natureza abiótica, contemplando elementos e processos litológicos, tectônicos, geomorfológicos, hidrológicos, topográficos e de solo na superfície terrestre e nos mares e oceanos, em conjunto com os sistemas gerados pelos processos humanos e físicos naturais, tanto endógenos como exógenos. Já Gray (2013) talvez tenha a definição mais difundida e aceita, propondo que a geodiversidade seria a variedade natural das características da geologia, geomorfologia, pedologia e hidrologia, juntamente com as assembleias, estruturas, sistemas e contribuições para a paisagem.

A geodiversidade, que compõe o capital natural do planeta, fornece benefícios para a sociedade na forma de serviços geossistêmicos, frequentemente subestimados em relação aos serviços ecossistêmicos fornecidos pela biodiversidade (Gray, 2019). Estudos têm demonstrado a relação intrínseca entre a geodiversidade e a biodiversidade e a importância da integração de ambas (Najwer et al., 2016; Boothroyd & McHenry, 2019; Ibáñez, Brevik & Cerdà, 2019; Schrodtt et al., 2019; D'Angelo et al., 2020; Read et al., 2020), tendo, a avaliação da geodiversidade um papel central para definição de estratégias de conservação e planejamento ambiental.

Em zonas costeiras ocorre a interação de processos marinhos e terrestres, sendo consideradas como *hotspots* de geodiversidade (Gray, 2008). São áreas de interface entre o ar, a terra e o mar, sendo um dos ambientes sob maior estresse devido à exploração excessiva de seus recursos e uso do solo desordenado (Gruber, Barboza & Nicolodi, 2003).

Para Rossetti (2008), o estudo das zonas costeiras é crucial para o entendimento da dinâmica e de padrões de oscilação do nível do mar, tanto no passado quanto no presente, já que esses ambientes respondem de imediato à variação do nível de base e preservam esses registros, permitindo a reconstrução e correlação de eventos geológicos em escala regional e local. Ou seja, são áreas definidas pela interação desses processos, resultando em ambientes com características muito particulares.

Quanto às áreas densamente ocupadas, no Brasil, aglomeração urbana é definida no Estatuto da Metrópole, em seu Artigo 2^o, como uma unidade territorial delimitada pelos municípios constituintes, inclusive áreas rurais e não apenas as manchas urbanas, tendo como característica a complementariedade e integra o de dinâmicas e fun oes entre as suas unidades administrativas (Lei n^o 13.089, 2015).

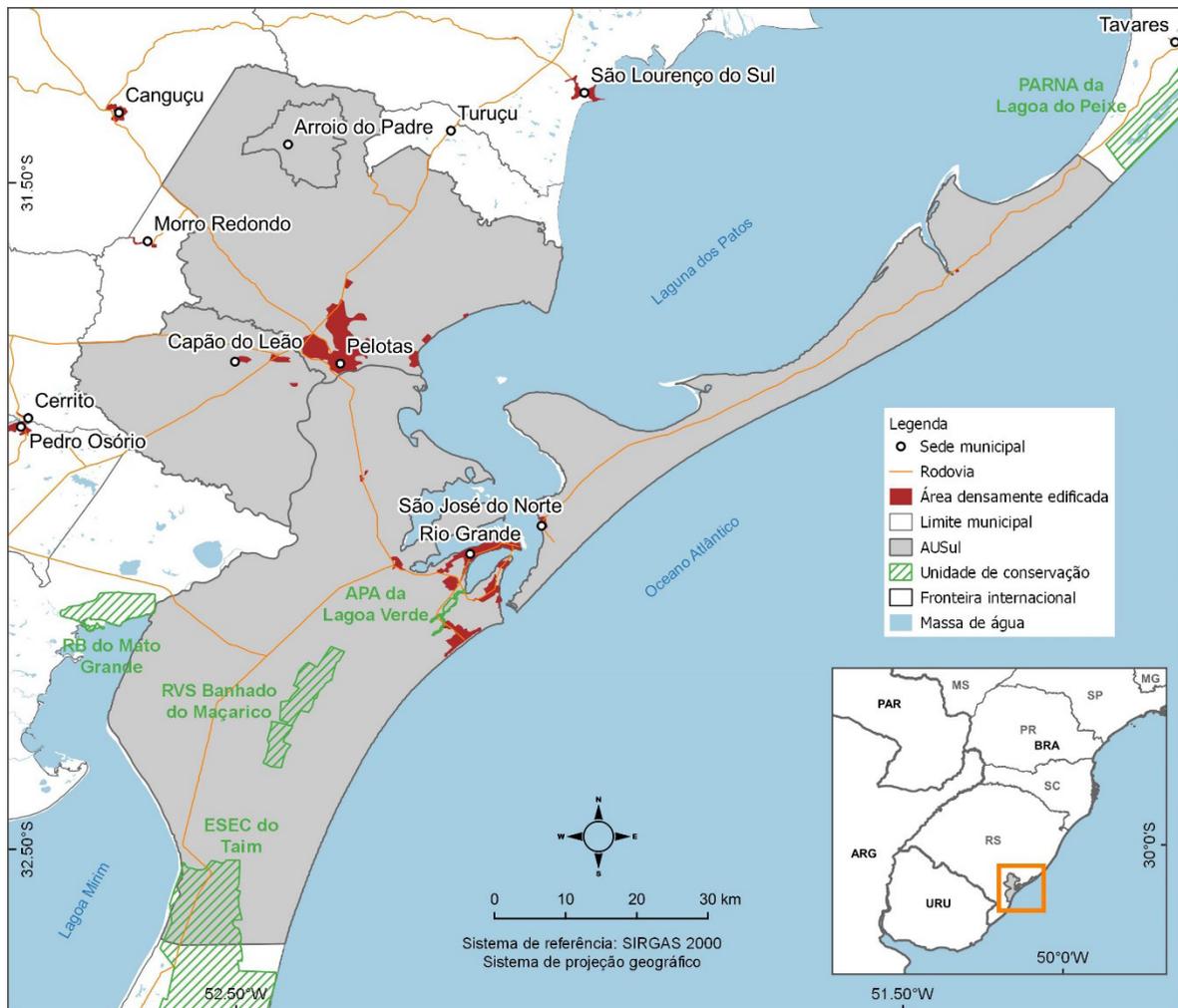
Devido aos aspectos mencionados e aos impactos que a urbaniza o, as infraestruturas e as atividades econ micas na AUSul podem gerar no ambiente, se considerou relevante a avalia o de sua geodiversidade, e de seus municípios, em escala regional, a partir de um  ndice de geodiversidade e da ocorrência e distribui o de seus elementos abióticos constituintes, a fim de contribuir com futuras a oes de planejamento territorial na região.

ÁREA DE ESTUDO

A AUSul foi criada em 2002 (Lei Complementar n^o 11.876, 2002) e   constituída pelos municípios de Rio Grande, São José do Norte, Pelotas, Capão do Leão e Arroio do Padre (Fig. 1). Localizada no litoral do estado do Rio Grande do Sul, Região Sul do Brasil, entre a Lagoa Mirim e a Laguna dos Patos e entre o Planalto Sul-Rio-Grandense e o Oceano Atlântico, em sua maior parte nos sistemas Lagunas-Barreiras da Bacia Sedimentar de Pelotas. Esta bacia tem origem no rifteamento de abertura do oceano Atlântico Sul, que fragmentou o continente Gondwana a partir do Cretáceo inferior, e na subsequente deposi o de sedimentos a partir da influência de oscila oes do nível do mar e varia oes climáticas, tendo como área fonte o próprio escudo cristalino na porão centro-sul da bacia (Barboza, Rosa & Ayup-Zouain, 2008; Tomazelli & Villwock, 2000).

O clima, segundo a classifica o de K ppen-Geiger,   Cfa, temperado chuvoso e moderadamente quente e, pela localiza o em zona de latitude média,   controlado por sistemas tropicais e polares (Moreno, 1961). A AUSul também está inserida na Bacia Hidrográfica Piratini-São Gonçalo, que por sua vez, faz parte da Região Hidrográfica do Guaíba, cuja foz   a saída da Laguna dos Patos para o oceano Atlântico. A AUSul está inserida no bioma Pampa, cont m duas unidades de conserva o, o Refúgio de Vida Silvestre Banhado do Maçarico e a área de Prote o Ambiental da Lagoa Verde; intercepta a Esta o Ecológica do Taim; e   próxima da Reserva Biológica do Mato Grande e do Parque Nacional da Lagoa do Peixe.

Figura 1 - Localização da AUSul.



Fonte: elaborado a partir de IBGE (2019a)

Desde a década de 1960 estudos já mostravam que os municípios da região, polarizados por Pelotas e Rio Grande, mantinham grau considerável de integração (Davidovich & Lima, 1975; Galvão & Faissol, 1969; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1972, 2008). Atualmente a AUSul abriga uma população estimada em 609.269 habitantes, correspondendo a 5,36% do estado, com taxa de urbanização de 92,70% e densidade demográfica de 81,35hab./km², sendo Pelotas o município mais povoado e populoso (IBGE, 2019b).

MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com os critérios elaborados por Zwolinski, Najwer e Giardino (2018), este estudo tem como assunto um conjunto de componentes do ambiente natural, no âmbito de suas propriedades sistêmicas, em escala regional. Quanto às técnicas de avaliação, utiliza dados secundários e o procedimento é quali-quantitativo, pois os elementos abióticos da

geodiversidade foram definidos qualitativamente, considerando os mais relevantes para as características da região e a disponibilidade de dados, e posteriormente foram tratados com métodos quantitativos. A apresentação dos resultados é cartográfica, tabular e gráfica.

Neste estudo utilizou-se o índice de geodiversidade de Serrano e Ruiz-Flaño (2007b), expresso pela seguinte equação:

$$Gd = \frac{Eg \cdot R}{Ln S} \quad (1)$$

Onde:

Gd é o índice de geodiversidade

Eg é o número de elementos abióticos na unidade de estudo

R é o coeficiente de rugosidade do relevo da unidade de estudo

Ln é o log natural da área de estudo

S é a área da unidade de estudo, em km²

Para o coeficiente de rugosidade, que exerce papel importante na construção do índice, pois representa variações topográficas e os fluxos de energia e materiais nas encostas, integrando os elementos da área de estudo (Serrano & Ruiz-Flaño, 2007a), utilizou-se o Índice de Rugosidade do Terreno (IRT) de Riley, DeGloria e Elliot (1999) com dados do modelo digital de superfície (MDS) do projeto Topodata, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para o cálculo do parâmetro Eg definiu-se os elementos abióticos mais relevantes de acordo com as características da região, a partir de estudos e sistematizações propostos por Serrano e Ruiz-Flaño (2007a), Gray (2013), Manosso e Nóbrega (2015) e Rodrigues e Bento (2018), além da disponibilidade de dados na escala pretendida ou aproximada. Definiu-se as classes para cada elemento para, a seguir, quantificar a ocorrência das mesmas em cada área municipal e na AUSul. Os elementos também foram agrupados de acordo com os processos em que estão diretamente relacionados: Hidrografia, Geologia, Topografia e Geomorfologia e Solos (Quadro 1).

Quadro 1 - Elementos da geodiversidade e classes utilizados.

Grupos	Elementos (Eg)	Classes
Hidrografia	Drenagem	Ordem dos cursos de água (rio e canal), entre 1 e 10
	Massa de água (km ²)	Proporção de área de massa de água (represa ou açude, lagoa e laguna) no município e na AUSul. Definidas três classes de pontuação: 0 (para 0% da área) 10 (entre 1 e 49% da área) 20 (acima de 50% da área)
	Área úmida	Proporção de área úmida no município e na AUSul. Definidas três classes de pontuação: 0 (para 0% de área úmida) 10 (entre 1% e 49% de área úmida) 20 (acima de 50% de área úmida)
Solos	Classe de solo	Argissolos Cambissolos Espodossolos Gleissolos Neossolos Organossolos Planossolos
	Profundidade	Raso Pouco profundo Profundo
	Fertilidade	Baixa Média Alta
Topografia e geomorfologia	Altimetria (metros)	0-100; 101-200; 201-300; 301-400; maior que 401
	Declividade	Plano Suave ondulado Ondulado Forte ondulado Montanhoso
	Tipos de relevo	Campos de dunas Domínio de colinas dissecadas e morros baixos Domínio de morros e de serras baixas Planícies costeiras Planícies fluviais ou flúvico-lacustres Planícies flúvico-marinhas Terraços lagunares Vertentes recobertas por depósitos de encosta
	Forma do terreno	Convergente côncavo Convergente retilíneo Convergente convexo Planar côncavo Planar retilíneo Planar convexo Divergente côncavo Divergente retilíneo Divergente convexo
	Orientação de vertentes	Norte; Nordeste; Leste; Sudeste; Sul; Sudoeste; Oeste; Noroeste

continua

conclusão

Grupos	Elementos (Eg)	Classes
Geologia	Unidade	Cerro Grande Depósitos aluvionares Depósitos de barreira holocênica Depósitos de barreira pleistocênica 2 Depósitos de barreira pleistocênica 3 Depósitos de planície de inundação Depósitos de planície lagunar Depósitos de turfeira Depósitos eluviais e coluviais Granito Arroio Moinho Granito Capão do Leão Metagranitoides foliados Serra do Herval
	Estrutura	Dique Falha ou fratura Falha ou cisalhamento Falha sinistral
	Afloramentos	Corte de estrada Encosta de morro; Lajeado ou lajeiro Leito de rio Margem de drenagem Matacão Material disperso na superfície Pedreira Rasteiro
	Recursos minerais	Metais não ferrosos e semimetais Metais ferrosos Recursos minerais energéticos Material de uso na construção civil Material de uso na construção civil/Metais ferrosos

Os dados relativos à drenagem, massa de água e área úmida são da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul e Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (SEMA-RS & FEPAM, 2018), na escala 1:25.000.

Para a quantificação dos solos utilizou-se três elementos disponíveis que foram considerados relevantes para caracterização: classes de solo, com sete classes; profundidade, com três classes; e fertilidade, também com três classes. Os dados são de Cunha (1997), Cunha e Silveira (1996b, 1996a) e Cunha, Silveira e Severo (1996), na escala 1:100.000; seguindo a classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006). Na quantificação relativa à geologia, utilizou-se quatro elementos: unidades geológicas, com 20 classes; estrutura, com quatro classes; afloramentos, com oito classes; e recursos minerais, com cinco classes; os dados são da CPRM (2006), na escala 1:750.000.

Já para quantificação relativa à Topografia e Geomorfologia, utilizou-se cinco elementos: altimetria, com cinco classes; declividade, com cinco classes; tipo de relevo, com oito classes; forma do terreno, com nove classes; e orientação de vertentes, com oito classes. Os dados de tipo de relevo são da CPRM (2006), na escala 1:750.000; os demais do Topodata, na escala 1:100.000; e a classificação de declividade é da EMBRAPA (2006).

Apesar dos dados disponíveis de geologia e tipo de relevo (CPRM, 2006), na escala 1:750.000, extrapolarem a escala do estudo (1:250.000), decidiu-se utilizá-los pela relevância na dinâmica ambiental da região e na construção do índice de geodiversidade.

Assim, em ambiente SIG, os elementos foram quantificados, correspondendo cada um a uma coluna de atributos para os municípios. Após, obteve-se o atributo relativo ao parâmetro Eg somando os valores dos elementos. Também criou-se uma coluna de atributos para os cálculos da área municipal, em km², e do Ln utilizando a calculadora de campo; e para o IRT, obtido pela ferramenta para cálculo do IRT no SIG, a partir dos dados do MDS do Topodata.

Por fim, aplicou-se a equação para o índice de geodiversidade (Gd) municipal e para a região com a calculadora de campo em nova coluna de atributos. Também aplicou-se a equação para obtenção de subíndices para os grupos de elementos Hidrografia, Geologia, Topografia e Geomorfologia e Solos. Os subíndices foram calculados para cada município e para a AUSul.

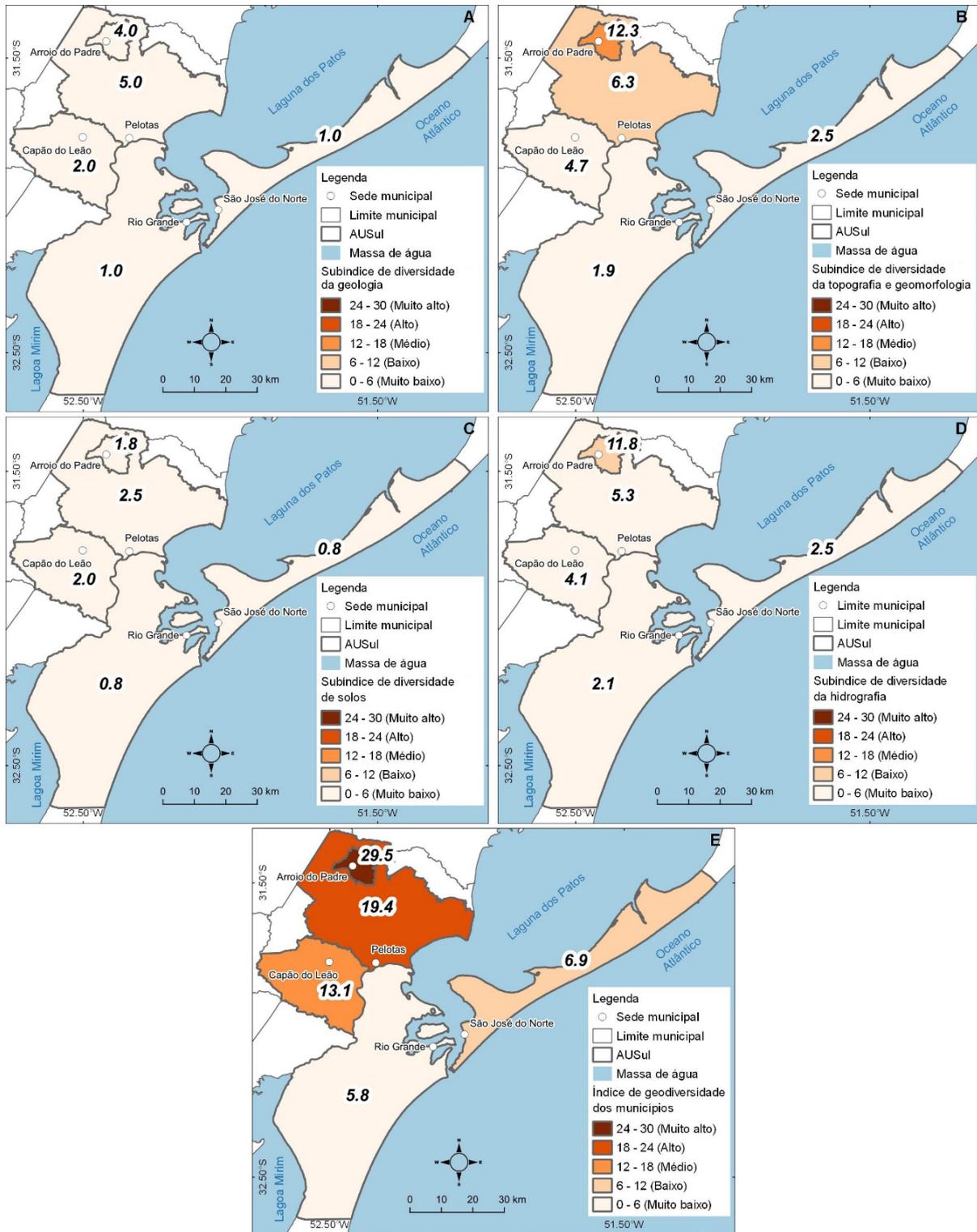
A etapa seguinte foi classificar os índices e subíndices e analisar os resultados e a ocorrência e distribuição dos elementos e grupos de elementos nos municípios e na região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de geodiversidade dos municípios, da AUSul e os respectivos subíndices de cada grupo de elementos variou de 1,0 à 29,5 e foram classificados, por intervalos iguais, em cinco classes: Muito baixo (menor que 6), Baixo (entre 6 e 12), Médio (entre 12 e 18), Alto (entre 18 e 24) e Muito alto (entre 24 e 30).

Conforme o mapa da Figura 2E, os municípios da porção norte e noroeste da região, no Planalto Sul-Riograndense, obtiveram as classificações mais altas, tendo Arroio do Padre índice Muito alto (29,5), Pelotas índice Alto (19,4) e Capão do Leão obteve classificação Médio (13,1). Na porção da Planície Costeira, São José do Norte obteve índice Baixo (6,9) e Rio Grande, o menor índice, Muito baixo (5,8). Quanto aos grupos de elementos da geodiversidade, Topografia e Geomorfologia apresenta maior variabilidade nos valores dos subíndices (Fig. 2B). Arroio do Padre novamente apresenta a maior classificação, entre os cinco municípios (Médio, com 12,3), Pelotas apresenta classificação Baixo (6,3) e os demais foram classificados como Muito baixo. A seguir o grupo Hidrografia (Fig. 2D) apresenta maior variabilidade, com Arroio do Padre apresentando a maior classificação, Baixo (11,8), e os demais classificados como Muito baixo. Já nos grupos Geologia (Fig. 2A) e Solos (Fig. 2C), todos os municípios foram classificados como Muito baixo, tendo uma variabilidade um pouco maior nos valores dos subíndices da Geologia.

Figura 2 - Subíndices dos grupos de elementos e índice de geodiversidade da AUSul e municípios



Obs.: sistema de referência: SIRGAS 2000; sistema de projeção: geográfico.

De acordo com a Tabela 1, que apresenta a distribuição dos parâmetros de construção do índice de geodiversidade, Arroio do Padre tem os maiores valores para Eg (65) e IRT (2,1975) da região, e em contrapartida tem a menor área (126,43km²) e o menor Ln (4,8397),

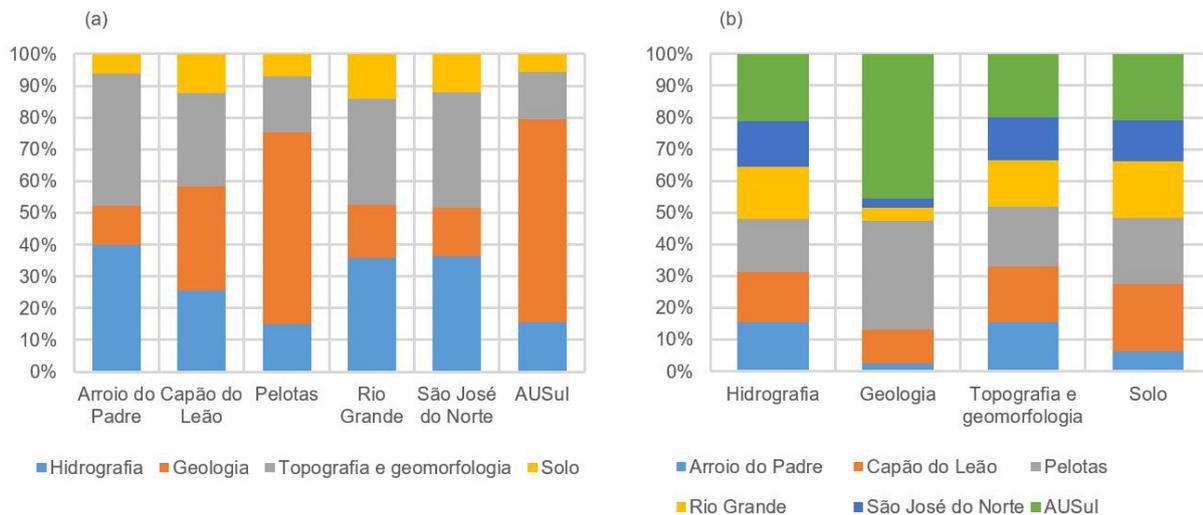
o que explica o seu Gd consideravelmente maior que os demais municípios. Conforme a Figura 3A, os grupos de elementos da Hidrografia e da Topografia e Geomorfologia foram os mais significativos quantitativamente no município. Além disso, o IRT é o único parâmetro cuja ordem dos valores corresponde à ordem dos valores do Gd, demonstrando a relevância da rugosidade do terreno para a mensuração da geodiversidade da região, de acordo com a equação utilizada, tendo relação direta com os maiores valores do índice. Isso explica também a maior variabilidade dos subíndices nos grupos Topografia e Geomorfologia e Hidrografia, sendo os maiores valores de Eg nesses grupos ocorrendo nos municípios com maiores valores do IRT, exceto Rio Grande.

Tabela 1 - Distribuição dos parâmetros do índice de geodiversidade (Gd).

	Arroio do Padre	Capão do Leão	Pelotas	Rio Grande	São José do Norte	AUSul
Área úmida	10	10	10	10	10	10
Massa de água	10	10	10	10	10	10
Ordens de drenagem	6	7	8	8	4	10
Total Hidrografia	26	27	28	28	24	30
Unidades geológicas	2	9	14	10	7	20
Estruturas geológica	2	0	4	0	0	4
Afloramentos	3	5	7	0	0	9
Recursos minerais	1	1	3	3	3	5
Total Geologia	8	16	28	13	10	38
Altitude	4	3	5	1	1	5
Declividade	5	5	5	4	4	5
Formas do terreno	9	9	9	9	9	9
Tipos de relevo	1	6	6	4	2	8
Orientação de vertentes	8	8	8	8	8	8
Total Topografia e geomorfologia	28	31	33	26	24	35
Fertilidade do solo	1	3	3	3	3	3
Profundidade do solo	1	3	3	2	2	3
Classes de solo	2	7	7	6	3	7
Total Solos	4	13	13	11	8	13
Total de elementos (Eg)	65	86	102	78	66	116
IRT	2,1975	1,0184	1,4016	0,5869	0,7278	0,9046
Área (km ²)	126,43	784,52	1.608,34	2.677,52	1.062,54	6.259,35
Ln da área	4,8397	6,6651	7,3830	7,8926	6,9684	8,7418
Subíndices						
Hidrografia	11,8	4,1	5,3	2,1	2,5	3,1
Geologia	4,0	2,0	5,0	1,0	1,0	3,9
Topografia e geomorfologia	12,3	4,7	6,3	1,9	2,5	3,6
Solos	1,8	2,0	2,5	0,8	0,8	1,3
Índice de geodiversidade (Gd)	29,5	13,1	19,4	5,8	6,9	12,0

Esse último município, apesar de obter o terceiro maior valores para Eg (78) e valores intermediários nos valores dos grupos de elementos, sua área (2.677,52km²) e seu valor de Ln (7,8926) são os maiores da região, explicando seu Gd ser o menor da AUSul, ou seja, sua geodiversidade estaria distribuída em uma área muito maior que nos demais municípios. Em Rio Grande os elementos dos grupos Topografia e Geomorfologia e Hidrografia são os mais relevantes, com mais de 30% dos elementos cada, e Geologia e Solos com cerca de 20% cada (Fig. 3a).

Figura 3 - Proporção dos grupos de elementos na AUSul e seus municípios



Já Pelotas apresenta a segunda maior área (1.608,34km²) e o segundo maior valor para Ln (7,3830), entretanto, diferente de Rio Grande, apresenta o segundo maior valor para o IRT (1,4016) e o maior Eg (102), além dos maiores valores para Eg nos grupos de elementos. O resultado é o segundo maior Gd da AUSul (19,4). Cerca de 60% dos elementos da geodiversidade do município são do grupo Geologia, 20% de Topografia e Geomorfologia, 15% da Hidrografia e 5% de Solo (Fig. 3a). O município tem valores relativamente altos para os parâmetros diretamente proporcionais ao índice de geodiversidade, mas em uma área mais de 12 vezes maior que Arroio do Padre, ou seja, Pelotas seria tão geodiversa quanto seu vizinho, mas em uma área maior.

Capão do Leão apresenta resultados intermediários em todos os parâmetros em relação aos demais municípios, tendo para seus elementos da geodiversidade cerca de 30% de cada grupo de Topografia e Geomorfologia, Hidrografia e Geologia e pouco mais de 10% do Solo (Fig. 3a). Já São José do Norte, apesar de obter um Gd com valor maior que Rio Grande, a exceção do IRT, todos os seus parâmetros são menores que seu vizinho, ou seja, a variação na rugosidade do terreno foi o mais relevante para determinar a diferença de geodiversidade entre os municípios, de acordo com a equação. Os grupos Topografia e Geomorfologia e Hidrografia foram os mais relevantes, com cerca de 40% cada, e Geologia e Solos com cerca de 10% cada (Fig. 3a).

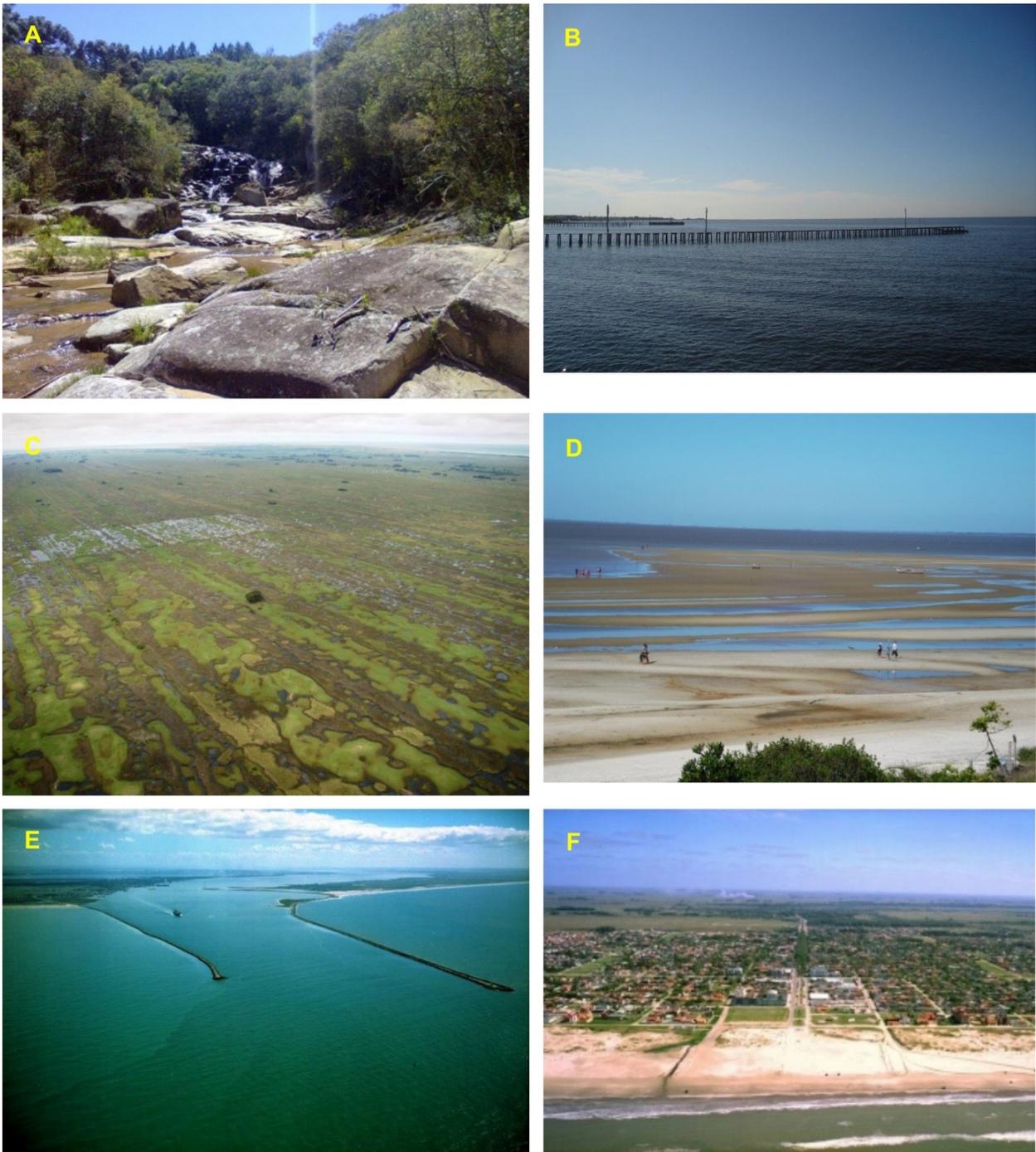
De acordo com a Figura 3b, o grupo dos elementos da Hidrografia aparece igualmente relevante em todos os municípios da AUSul. O grupo Topografia e Geomorfologia aparece mais relevante em Pelotas e Capão do Leão, assim como o grupo de Solo, que se mostra importante também em Rio Grande. Já o grupo de elementos da Geologia aparece muito relevante em Pelotas, isso devido à concentração de afloramentos e estruturas geológicas neste município, e muito pouco relevante em Arroio do Padre, devido à baixa variabilidade de unidades geológicas na pequena área do território municipal.

Conforme a Tabela 1, o índice de geodiversidade calculado para a AUSul foi de 12,0, classificado como Médio. Entretanto, os subíndices calculados para os grupos de elementos obtiveram classificação Muito baixo, com o maior índice (3,9) do grupo Geologia, seguido do grupo Topografia e Geomorfologia, Hidrografia e Solos. Essa ordem de relevância aparece também na Figura 3a, com cerca de 65%, 15%, 15% e 5% respectivamente.

Conforme os resultados obtidos, a hidrografia, a variação do relevo, principalmente seus tipos e a altitude, e as unidades geológicas mostram-se mais relevantes na mensuração da geodiversidade da AUSul e seus municípios, pois apresentam maior diferenciação entre os municípios. Arroio do Padre tem seu território totalmente no Planalto Sul-Riograndense (Fig. 4A) e apresenta uma área bem menor que os demais municípios, o que explica seu índice Muito alto. Entretanto, Pelotas e Capão do Leão, com índices Alto e Médio respectivamente, tem áreas de interface entre o Planalto e a Planície Costeira (Fig. 4B), aumentando a variabilidade de elementos e o valor dos seus Gd. Nos municípios da Planície Costeira, por apresentarem menor variabilidade dos elementos considerados no cálculo, os índices foram os menores da região. A relevância considerável das áreas úmidas nos ambientes de Rio Grande e São José do Norte (Figs. 4C, 4D, 4E e 4F), devido às grandes áreas desses municípios, não se refletiram nos Gd.

Também observou-se que os resultados dos subíndices e do Gd não apresentam relação com características ou valoração estéticas. Áreas comumente valorizadas esteticamente, como praias, campos de dunas e cachoeiras, obtiveram índices bastante diferentes.

Figura 4 - A) Cachoeira do Camboatá, Arroio do Padre; B) Praia do Laranjal, Pelotas; C) RB Banhado do Maçarico, Rio Grande; D) Praia do Barranco, São José do Norte; E) Molhes da Barra, Rio Grande e São José do Norte; e F) Praia do Cassino, Rio Grande.



Fontes: A) Prefeitura de Arroio do Padre (2021); B) Portal Praia do Laranjal (2021); C) Estado do Rio Grande do Sul (2014); D) Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo (2021); E) e F) Prefeitura de Rio Grande (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi avaliar quantitativamente a geodiversidade da AUSul e seus municípios constituintes, juntamente com a ocorrência e distribuição dos elementos abióticos. De acordo com os resultados obtidos com a metodologia, os municípios situados no Planalto Sul-Riograndense e com áreas de interface com a Planície Costeira obtiveram os maiores índices, sendo influenciados pela diversidade de unidades geológicas, tipos de relevo, variações altimétricas e de feições hidrográficas. Baseado nesses resultados, sugere-se que estudos em escalas maiores sejam realizados nos municípios classificados como Muito alto e Alto afim de identificar pontos de interesse para estudos mais detalhados, identificação e inventário de eventuais geomonumentos.

Esperava-se que os municípios na Planície Costeira tivessem índices mais altos dos que os obtidos, principalmente pela influência das grandes áreas úmidas e da hidrografia. Entretanto, a metodologia utilizada atribui grande relevância para a rugosidade do terreno, o que somado aos elementos da geologia, topografia e relevo, subestima áreas cuja diversidade é caracterizada por outras variáveis, como é o caso da Planície Costeira gaúcha. Além disso, o método não se mostra capaz de apreender características subjetivas da geodiversidade, como estéticas e paisagísticas, notoriamente presentes nos municípios de Rio Grande e São José do Norte.

O estudo mostra-se útil para o entendimento da geodiversidade da AUSul, em escala regional, servindo para o apontamento de áreas para estudos em escalas maiores e macrozoneamentos. O estudo também demonstra limitações da metodologia utilizada, indicando a necessidade de complementação ou adaptação para que incorpore as características subjetivas da geodiversidade para uma maior aproximação da realidade.

REFERÊNCIAS

- Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., & Ayup-Zouain, R.N. (2008). Cronoestratigrafia da Bacia de Pelotas: Uma revisão das sequências deposicionais. *Gravel*, 6(1), 125-138. Recuperado de <http://www.ufrgs.br/gravel/portugues/publica.htm>
- Boothroyd, A., & McHenry, M. (2019). Old processes, new movements: the inclusion of geodiversity in biological and ecological discourse. *Diversity*, 11(11), 1-17. <https://doi.org/10.3390/d11110216>
- Brilha, J.B.R., Gray, M., Pereira, D.I., & Pereira, P. (2018). Geodiversity: an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science and Policy*, 86, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (2006). *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Escala 1:750.000. Porto Alegre. Recuperado de http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf
- Cunha, N.G. (1997). *Caracterização dos solos de São José do Norte, Tavares e Mostardas – RS*. Pelotas: EMBRAPA/CPACT. (Documentos CPACT, 7/94). Recuperado de <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=738485&biblioteca=vazio&busca=738485&qFacets=738485&sort=&paginaAtual=1>

- Cunha, N.G., & Silveira, R.J.C. (1996a). *Estudo dos solos do município de Capão do Leão*. Pelotas: EMBRAPA/CPACT. (Documentos CPACT, 11/96). Recuperado de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/739871>
- Cunha, N.G., & Silveira, R.J.C. (1996b). *Estudo dos solos do município de Pelotas*. Pelotas: EMBRAPA/CPACT (Documentos CPACT, 12/96). Recuperado de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/739840>
- Cunha, N.G., Silveira, R.J.C., & Severo, C.R.S. (1996). *Estudo dos solos do município de Rio Grande*. Pelotas: EMBRAPA/CPACT (Documentos CPACT, 16/96). Recuperado de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/737762>
- D'Angelo, S., Di Stefano, F., Fiorentino, A., Lettieri, M.T., Russo, G.F., & Violante, C. (2020). Marine landscapes and habitats of Cilento Geopark (Italy) - Linking geo- and biodiversity using a multiscale approach. In P.T. Harris. & E. Baker. *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat. GeoHab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats*. (pp. 421-437). Amsterdam: Elsevier.
- Davidovich, F.R., & Lima, O.M.B. (1975). Contribuição ao estudo de aglomerações urbanas no Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, 37(1), 50-84. Recuperado de https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1975_v37_n1.pdf
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS* (2. ed). Rio de Janeiro. Recuperado de <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>
- Estado do Rio Grande do Sul. (2014). *Governo do Estado cria nova Unidade de Conservação: Banhado do Maçarico, em Rio Grande*. Recuperado de <https://estado.rs.gov.br/governo-do-estado-cria-nova-unidade-de-conservacao-banhado-do-macarico-em-rio-grande>
- Galvão, M.V., & Faissol, S. (1969). Divisão regional do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, 31(4), 179-218. Recuperado de <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=7115>
- Gray, M. (2008). Geodiversity: Developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119(3-4), 287-298. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(08\)80307-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(08)80307-0)
- Gray, M. (2013). *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature* (2.ed). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Gray, M. (2019). Geodiversity, Geoheritage and Geoconservation for Society. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.11.001>
- Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., & Nicolodi, J.L. (2003). Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira. *Gravel*, 1(1), 81-89. Recuperado de <https://www.ufrgs.br/gravel/portugues/publica.htm>
- Ibáñez, J.J., Brevik, E.C., & Cerdà, A. (2019). Geodiversity and geoheritage: detecting scientific and geographic biases and gaps through a bibliometric study. *Science of the Total Environment*, 659(1), 1032-1044. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.443>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1972). *Divisão do Brasil em regiões funcionais urbanas*. Rio de Janeiro. Recuperado de <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=213622>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2008). *Regiões de Influência das Cidades 2007*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado de <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=240677>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019a). *Bases Cartográficas Contínuas - Brasil (Versão 2019)*. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019b). *Estimativas da População*. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>
- Lei Complementar nº 11.876, de 6 de dezembro de 2002, Altera disposições da Lei Complementar nº 9.184, de 26 de dezembro de 1990, revoga a Lei Complementar nº 10.816, de 15 de julho de 1996, transforma a Aglomeração Urbana de Pelotas em Aglomeração Urbana do Sul agregando novos Municípios a esta, e dá outras providências*. Recuperado de <http://www.al.rs.gov.br/FileRepository/repLegisComp/Lec%20n%C2%BA%2011.876.pdf>

- Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm
- Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13089.htm
- Manosso, F.C., & Nóbrega, M.T. (2015). Calculation of Geodiversity from Landscapes Units of the Cadeado Range Region in Paraná, Brazil. *Geoheritage*, 8(3), 189–199. <https://doi.org/10.1007/s12371-015-0152-1>
- Moreno, J.A. (1961). Clima do Rio Grande do Sul. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, 11, 49–83. Recuperado de <https://revistas.fee.tche.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/3236>
- Najwer, A., Borysiak, J., Mazurek, M., & Zwolinski, Z. (2016). Geodiversity and biodiversity of the postglacial landscape (Dębnica River Catchment, Poland). *Quaestiones Geographicae*, 35(1), 5–28. <https://doi.org/10.1515/quageo-2016-0001>
- Portal Praia do Laranjal. (2021). *Colônia Z-3*. Recuperado de <https://www.praiadolaranjal.tur.br/colonia-z-3/>
- Prefeitura de Arroio do Padre. (2021). *Turismo – Cachoeira do Camboatá*. Recuperado de <https://www.arroiodopadre.rs.gov.br/portal/turismo/0/9/739/cachoeira-do-camboata>
- Prefeitura de Rio Grande. (2021). *Galeria de fotos*. Recuperado de <https://www.riogrande.rs.gov.br/consulta/index.php/galerias-de-fotos+338b>
- Read, Q.D., Zarnetske, P.L., Record, S., Dahlin, K.M., Costanza, J.K., Finley, A.O. ... & Wilson, A.M. (2020). Beyond counts and averages: relating geodiversity to dimensions of biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 29(4), 696–710. <https://doi.org/10.1111/geb.13061>
- Riley, S.J., DeGloria, S.D., & Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1–4), 23–27. Recuperado de https://download.osgeo.org/qgis/doc/reference-docs/Terrain_Ruggedness_Index.pdf
- Rodrigues, S.C., & Bento, L.C.M. (2018). Cartografia da geodiversidade: Teorias e métodos. In J.T. Guerra & M.C.O. Jorge. *Geoturismo, geodiversidade e geoconservação: abordagens geográficas e geológicas* (pp. 128–162). São Paulo: Oficina de Textos.
- Rossetti, D.F. (2008). Ambientes costeiros. In T.G. Florenzano. *Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Schrodt, F., Bailey, J.J., Kissking, W.D., Rijdsdijk, K.F., Seijmonsbergen, A.C., Ree, D.,... & Field, R. (2019). To advance sustainable stewardship, we must document not only biodiversity but geodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 116(33), 16155–16158. <https://doi.org/10.1073/pnas.1911799116>
- Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. (2018). *Base Cartográfica do Rio Grande do Sul, Escala 1:25.000 - BCRS25 (Versão 1.0)*. Recuperado de <http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/>
- Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo. (2021). *Praia do Barranco*. Recuperado de <https://www.turismo.rs.gov.br/atrativo/4071/praiado-barranco>
- Serrano, E., & Ruiz-Flaño, P. (2007a). Geodiversity: Concept, assessment and territorial application. The case of Tiermes-Caracena (Soria). *Boletín de la AGE*, 45, 389–393. Recuperado de <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/655>
- Serrano, E., & Ruiz-Flaño, P. (2007b). Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, 62(3), 140–147. <https://doi.org/10.5194/gh-62-140-2007>
- Sharples, C. (1993). *A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes*. Hobart: Forestry Commission Tasmania.
- Sharples, C. (1995). Geoconservation in forest management – Principles and procedures. *Tasforests*, 7, 37–50. Recuperado de <https://eprints.utas.edu.au/11753/>

Tomazelli, J.L., & Villwock, J.A. (2000). O Cenozoico Costeiro do Rio Grande do Sul. In M. Holz & L.F. de Ros. *Geologia do Rio Grande do Sul* (pp. 375–406). Porto Alegre: Ed. UFRGS.

Wiedenbein, C. (1993). Ein Geotopschutzkonzept für Deutschland. In H. Quasten. *Geotopschutz: Probleme der Methodik und der praktischen Umsetzung*. Saarbrücken: Saarlandes Universität.

Zwolinski, Z., Najwer, A., & Giardino, M. (2018). Methods for assessing geodiversity. In E. Reynard & J.B.R. Brilha. *Geoheritage: Assessment, protection and management* (pp. 27–52). Amsterdam: Elsevier.

Recebido em 11/jun./2021

Versão corrigida recebida em 13/ago./2021

Aceito em 15/ago./2021

Publicado online em 15/fev./2022