

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DANIEL TRESPACH PORTO

**GEODIVERSIDADE COMO APORTE AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA
AGLOMERAÇÃO URBANA DO SUL, BRASIL**

Porto Alegre

2020

DANIEL TRESPACH PORTO

**GEODIVERSIDADE COMO APORTE AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA
AGLOMERAÇÃO URBANA DO SUL, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer

Porto Alegre

2020

CIP - Catalogação na Publicação

Porto, Daniel Trespach
Geodiversidade como aporte ao planejamento
ambiental da Aglomeração Urbana do Sul, Brasil /
Daniel Trespach Porto. -- 2020.
82 f.
Orientador: Ulisses Franz Bremer.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,
2020.

1. AUSul. 2. Índice de geodiversidade. 3. Uso da
terra e cobertura do solo. 4. Planície Costeira do Rio
Grande do Sul. 5. Geoconservação. I. Bremer, Ulisses
Franz, orient. II. Título.

DANIEL TRESPACH PORTO

**GEODIVERSIDADE COMO APORTE AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA
AGLOMERAÇÃO URBANA DO SUL, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Banca Examinadora:

Aprovada em: Porto Alegre, 26 de outubro de 2020.

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer (UFRGS)

Prof. Dr. Adriano Luís Heck Simon (UFPeI)

Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass (UNIPAMPA/UFRGS)

Prof. Dr. Roberto Verdum (UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Ulisses Franz Bremer, meu orientador, pela confiança depositada, por compartilhar seus valiosos conhecimentos no desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela oportunidade de crescimento profissional por meio do Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA), do Instituto de Geociências (IGEO), dos seus docentes e técnicos-administrativos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento deste estudo através do Programa de Excelência Acadêmica (PROEX).

Aos colegas discentes do POSGEA pelas contribuições diretas e indiretas ao desenvolvimento deste estudo.

Aos amigos e familiares pelo apoio e incentivo.

Agradeço também a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

PORTO, Daniel Trespach. **Geodiversidade como aporte ao planejamento ambiental da Aglomeração Urbana do Sul, Brasil**. 82 f. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

RESUMO

Estudos ambientais são importantes para subsidiar o planejamento ambiental e o ordenamento territorial, especialmente em áreas densamente ocupadas como a Aglomeração Urbana do Sul (AUSul), e a geodiversidade, componente essencial da diversidade natural, deveria compor esses estudos. Assim surge o problema da caracterização da geodiversidade e da possibilidade de conflitos com usos da terra. O objetivo desta pesquisa foi caracterizar a geodiversidade da AUSul, a partir do índice de geodiversidade (Gd), e identificar conflitos entre usos da terra e a geodiversidade na região. Para isso elaborou-se uma caracterização ambiental e territorial da AUSul, a partir de pesquisa bibliográfica, e da sua geodiversidade. Utilizou-se dados ambientais secundários nos formatos matricial e vetorial para o cálculo. Como resultado, o Gd variou de 0,16 a 16,59, sendo classificado em cinco classes: Muito Baixo (até 1,9), Baixo (2,0 a 4,9), Médio (5,0 a 7,9), Alto (8 a 10,9) e Muito Alto (a partir de 11,0). Os valores Muito Alto se concentram no norte de Pelotas, em Arroio do Padre e Capão do Leão; os valores Alto se estendem pelo norte e noroeste de Pelotas e Capão do Leão; os valores Muito Alto, Alto, Médio e Muito Baixo ocupam pouco mais de 24,6% da região e 75,4% tem Gd Baixo. Na etapa seguinte, analisou-se os conflitos entre usos da terra e a geodiversidade. Observou-se que onde o Gd é Muito Alto e Alto, predomina a cobertura de Floresta Natural, mas com destaque para as áreas dos usos Agricultura e a Floresta Plantada. Onde o Gd é Médio, Baixo e Muito Baixo, a Agricultura ocupa maior área, seguida da Floresta Natural, Formação Campestre e Área Úmida Natural não Florestal. Observa-se aumento da cobertura em relação ao uso quando diminui o índice, mas reduzindo na classe Muito Baixo, sendo o principal uso a Agricultura em todas as classes de geodiversidade. O uso tem um incremento de Infraestrutura Urbana com as sedes municipais de Pelotas, Rio Grande e São José do Norte e do Balneário Cassino, e de Floresta Plantada na localidade de Bojuru e no sul de Rio Grande. A escassez de dados em escalas maiores que 1:250.000 foi uma limitação. Outra, inerente ao método utilizado, foi a não identificação de áreas com notório valor estético, resultando em Gd Baixo e Muito Baixo. Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos em escala local nas áreas com Gd Muito Alto e Alto para identificação dos valores e benefícios da geodiversidade e subsidiar possível criação de áreas de proteção e propostas de uso sustentável.

Palavras-chave: AUSul. Índice de geodiversidade. Uso da terra e cobertura do solo. Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Geoconservação.

PORTO, Daniel Trespach. **Geodiversity as a contribution to environmental planning in the Southern Urban Agglomeration, Brazil**. 82 f. 2020. Dissertation (Master of Sciences of Geography) – Geography Graduation Programme, Institute of Geosciences, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

ABSTRACT

Environmental studies are important to support environmental planning and spatial planning, especially in densely occupied areas such as the Southern Urban Agglomeration (AUSul), Brazil, and geodiversity, an essential component of natural diversity, should compose these studies. Thus arises the problem of characterizing geodiversity and the possibility of conflicts with land uses. The objective of this research was to characterize AUSul's geodiversity, based on the geodiversity index (Gd), and to identify conflicts between land uses and geodiversity in the region. For this purpose, an environmental and territorial characterization of AUSul was elaborated, based on bibliographic research and its geodiversity. Secondary environmental data in the matrix and vector formats were used for the calculation. As a result, Gd ranged from 0.16 to 16.59, being classified into five classes: Very Low (up to 1.9), Low (2.0 to 4.9), Medium (5.0 to 7.9), High (8 to 10.9) and Very High (from 11.0). The Very High values are concentrated in the north of Pelotas, in Arroio do Padre and Capão do Leão; the High values extend across the north and northwest of Pelotas and Capão do Leão; the Very High, High, Medium and Very Low values occupy just over 24.6% of the region and 75.4% have Low Gd. In the next step, the conflicts between land uses and geodiversity were analyzed. It was observed that where the Gd is Very High and High, the coverage of Natural Forest predominates, but with emphasis on the areas of Agriculture and Forestry uses. Where Gd is Medium, Low and Very Low, Agriculture occupies the largest area, followed by the Natural Forest, Campestre Formation and Non-Forest Natural Wetland. There is an increase in coverage in relation to use when the index decreases, but decreasing in the Very Low class, the main use being Agriculture in all classes of geodiversity. The use has an increase of Urban Infrastructure with the cities of Pelotas, Rio Grande, São José do Norte, and the Balneário Cassino district, and of Forestry in the locality of Bojuru and in the south of Rio Grande. The scarcity of data at scales greater than 1:250,000 was a limitation. Another, inherent to the applied method, was the failure to identify areas with notable aesthetic value, resulting in Low and Very Low Gd. For future work, it is suggested to carry out studies on a local scale in areas with Very High and High Gd to identify the values and benefits of geodiversity and to support possible creation of protected areas and proposals for sustainable use.

Keywords: AUSul. Geodiversity index. Land use and soil coverage. Coastal Plain of Rio Grande do Sul. Geoconservation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da AUSul	13
Figura 2 - Grade utilizada para o cálculo do Gd	37
Figura 3 - Localização dos núcleos urbanos na AUSul e seu entorno	43
Figura 4 - Mapa de uso e cobertura da terra da AUSul.....	47
Figura 5 - Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul	49
Figura 6 - Mapa das BH, UCs e áreas especiais.....	53
Figura 7 - Mapas dos dados de geologia e hidrografia utilizados.....	55
Figura 8 - Mapas dos dados de relevo (altitude e declividade)	56
Figura 9 - Mapas dos dados de geomorfologia (relevo e forma do terreno).....	57
Figura 10 - Mapas dos dados de geomorfologia (vertentes) e solos (profundidade).58	
Figura 11 - Mapas dos dados de solos (classes e fertilidade).....	59
Figura 12 - Mapas de subíndices de geodiversidade	61
Figura 13 - Plano de informação do parâmetro Eg.....	62
Figura 14 - Mapa do índice de geodiversidade da AUSul	63
Figura 15 - Classes de uso e cobertura x classes de geodiversidade.....	68
Figura 16 - Mapas de conflito de uso e cobertura da terra com geodiversidade	69
Quadro 1 - Elementos da geodiversidade da Terra.....	17
Quadro 2 - Valores da geodiversidade	18
Quadro 3 - Classificação dos benefícios da geodiversidade	19
Quadro 4 - Critérios para metodologia de avaliação da geodiversidade	22
Quadro 5 - Elementos para método de quantificação e índice de geodiversidade....	26
Quadro 6 - Exemplos de temas e elementos para índice de geodiversidade	27
Quadro 7 - Elementos da geodiversidade para compor os parâmetros do Gd	35
Quadro 8 - Dados utilizados	39
Fluxograma 1 - Processos para obtenção dos subíndices de geodiversidade.....	36
Fluxograma 2 - Processos para obtenção do índice de geodiversidade	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da população urbana e rural na AUSul e seus municípios ...	44
Tabela 2 - Área territorial e densidade demográfica.....	45
Tabela 3 - População atendida por serviços de saneamento, em percentuais	45
Tabela 4 - PIB de 2017 da AUSul e seus municípios, em percentuais	46
Tabela 5 - Classes e percentuais de áreas de uso e cobertura da terra	47
Tabela 6 - Área das classes de geodiversidade.....	64
Tabela 7 - Área das classes de geodiversidade por município	65
Tabela 8 - Classes de uso e cobertura da terra x classes de geodiversidade	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AULINOR	Aglomeração Urbana do Litoral Norte
AUNE	Aglomeração Urbana do Nordeste
AUPel	Aglomeração Urbana de Pelotas
AUSul	Aglomeração Urbana do Sul
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverso da Distância ao Quadrado
IGEO	Instituto de Geociências
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDS	Modelo Digital de Superfície
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	Administração Nacional Aeronáutica e Espacial
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
RBMA	Reserva da Biosfera da Mata Atlântica
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre
RMSG	Região Metropolitana da Serra Gaúcha
RSNC	Sociedade Real para a Conservação da Natureza
SEEA	Sistema de Contabilidade Econômica Ambiental das Nações Unidas
SEMA-RS	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul
SEPLAG-RS	Secretaria de Planejamento Orçamento e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRTM	Missão de Topografia de Radar de Ônibus Espacial
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	GEODIVERSIDADE	15
2.2	AVALIAÇÃO DA GEODIVERSIDADE	21
2.2.1	Avaliação da geodiversidade quanto à fonte de dados	23
2.2.2	Avaliação da geodiversidade quanto à abordagem	23
2.3	PLANEJAMENTO AMBIENTAL E ORDENAMENTO TERRITORIAL	27
2.4	AGLOMERAÇÃO URBANA.....	29
3	METODOLOGIA	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E TERRITORIAL DA AUSUL	40
4.1.1	Ocupação do espaço e conformação territorial da AUSul	40
4.1.2	Contexto socioeconômico atual da AUSul.....	44
4.1.3	Caracterização do meio físico e o quadro ambiental da AUSul.....	48
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA GEODIVERSIDADE DA AUSUL EM ESCALA REGIONAL	54
4.3	MAPEAMENTO E ANÁLISE, EM ESCALA REGIONAL, DE CONFLITOS ENTRE USO DA TERRA E GEODIVERSIDADE NA AUSUL	65
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

No ordenamento territorial, usualmente a dimensão ambiental trata da delimitação de áreas de preservação, em boa parte justificadas pela biodiversidade, pela fragilidade dos ecossistemas e pela raridade da paisagem ou, eventualmente, de áreas que abrigam mananciais de recursos naturais para abastecimento humano ou uso econômico. No último caso, elementos e processos naturais são abióticos, ou seja, não vivos, como rochas, minerais, solo, relevo, água, o sistema terrestre que dá as condições para a manutenção da vida no planeta: a sua geodiversidade.

Conceito mais recente que o da biodiversidade, sua consideração em estudos ambientais e no planejamento do uso da terra ainda é incipiente. Sua caracterização e conservação, porém, é importante em áreas com ocupação humana densa, tanto urbana quanto agrícola, como regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, e deveriam subsidiar seus planos diretores e de desenvolvimento.

A partir da Constituição Federal (BRASIL, 1988), os estados passaram a definir e institucionalizar as regiões metropolitanas e aglomerações urbanas. No Rio Grande do Sul, a Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) é a mais antiga, criada na década de 1970 (BRASIL, 1973). A segunda a ser criada foi a Aglomeração Urbana de Pelotas (AUPel) (RIO GRANDE DO SUL, 1990), inicialmente constituída por Pelotas e Capão do Leão, mais tarde foram incluídos os municípios de Arroio do Padre, Rio Grande e São José do Norte, passando a se chamar Aglomeração Urbana do Sul (AUSul) (RIO GRANDE DO SUL, 2002). A terceira criada foi a Aglomeração Urbana do Nordeste (AUNE) (RIO GRANDE DO SUL, 1994) que mais tarde é transformada na segunda região metropolitana do estado, a Região Metropolitana da Serra Gaúcha (RMSG) (RIO GRANDE DO SUL, 2013). Em 2004 é criada a Aglomeração Urbana do Litoral Norte (Aulinor), a terceira aglomeração urbana do estado (RIO GRANDE DO SUL, 2004; SEPLAG-RS, 2019).

No Brasil, o Estatuto da Metrópole (BRASIL, 2015), estabelece diretrizes para o planejamento, a gestão e a execução de funções públicas de interesse comum nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas instituídas no país e normas gerais para elaboração de um plano de desenvolvimento urbano integrado, além de outros instrumentos de governança. Um desses instrumentos é a compensação por serviços ambientais fornecidos por um município à aglomeração urbana, como por exemplo a preservação de mananciais para abastecimento de água dos municípios constituintes.

Dentre vários aspectos, o plano de desenvolvimento urbano integrado deve contemplar o macrozoneamento da unidade territorial, a delimitação de áreas com restrições à urbanização com vistas à proteção do patrimônio ambiental e cultural e controle de risco de desastres. Nesse aspecto, o estudo da geodiversidade desponta como importante em áreas com assentamentos humanos concentrados, como as aglomerações urbanas, já que seus aspectos e relações são a base dos ecossistemas e da biodiversidade, assim como os possíveis conflitos de uso da terra com a geodiversidade.

Sem o conhecimento das relações dos componentes abióticos, não seria possível compreender a dimensão espacial (localização e escala), nem as mudanças causadas pela geologia, geomorfologia, solos, hidrologia e processos humanos no sistema natural. A geodiversidade contribui para a compreensão da diversidade natural, servindo de subsídio para o desenvolvimento de políticas de conservação e gestão de áreas naturais protegidas (SERRANO; RUIZ-FLAÑO, 2007a), além da identificação de conflitos de uso antrópico da terra com a geodiversidade para fins de ordenamento territorial e planejamento ambiental das unidades político-administrativas, colaborando para o desenvolvimento sustentável regional e local.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar a geodiversidade da AUSul, a partir do índice de geodiversidade, e identificar conflitos entre usos da terra e a geodiversidade na região (Figura 1) para fins de ordenamento territorial e planejamento ambiental regional.

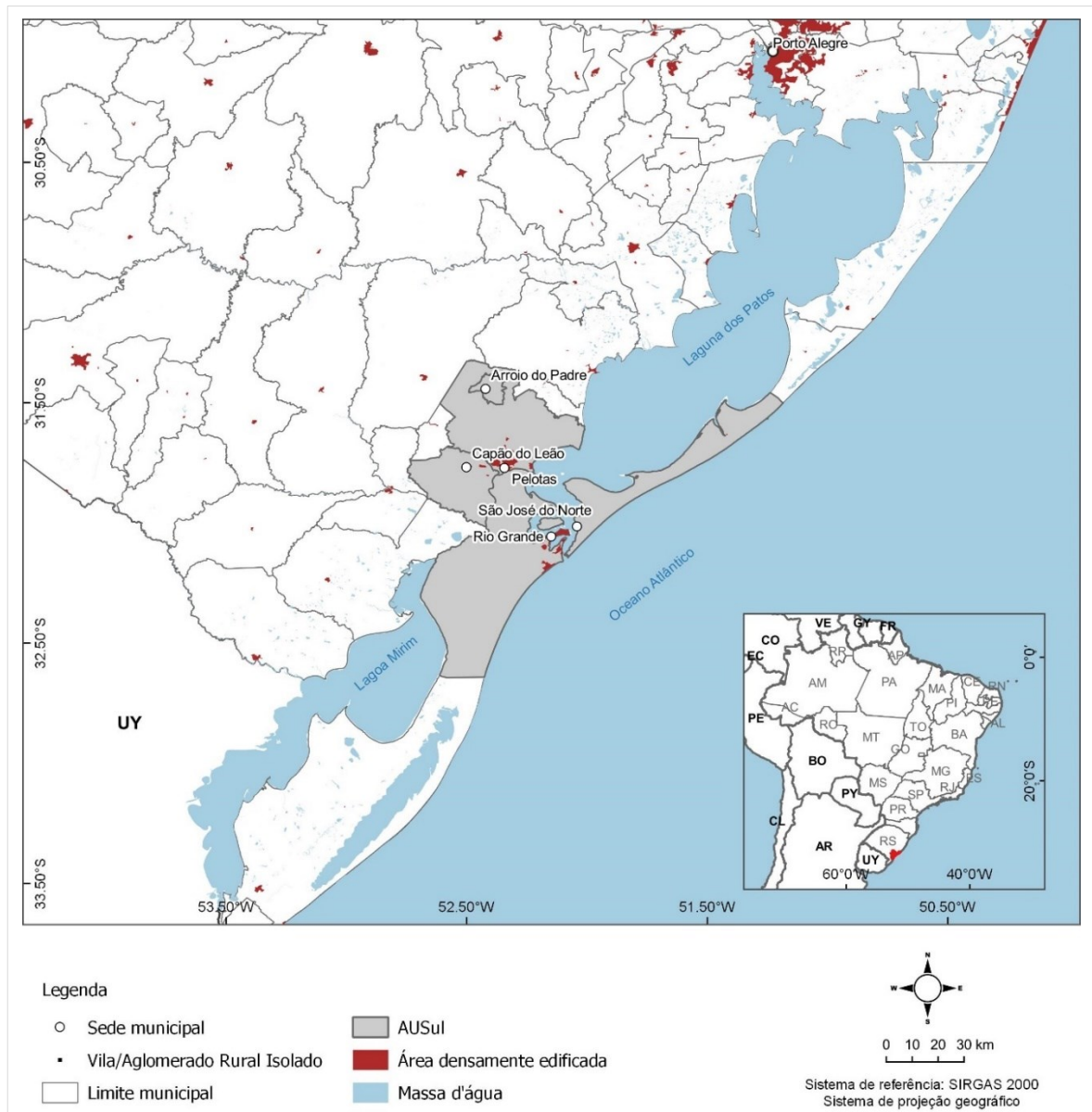
1.1.2 Objetivos específicos

Para a identificação e análises propostas, entende-se necessário o cumprimento dos seguintes objetivos específicos da pesquisa:

- Elaborar uma caracterização ambiental e territorial da AUSul, a partir de pesquisa bibliográfica;

- Caracterizar a geodiversidade e sua distribuição na AUSul, em escala regional, a partir do índice de geodiversidade;
- Identificar e mapear conflitos entre usos da terra e a geodiversidade na AUSul, em escala regional.

Figura 1 - Localização da AUSul



Fonte: elaborado pelo autor

1.2 JUSTIFICATIVA

A Aglomeração Urbana do Sul (AUSul) está localizada no litoral sul do Rio Grande do Sul, em área costeira entre o Planalto Sul-Rio-Grandense e o Oceano Atlântico, e de transição entre o norte da lagoa Mirim e o sul da laguna dos Patos (Figura 1). Atualmente é constituída pelos municípios de Arroio do Padre, Capão do Leão, Pelotas, São José do Norte e Rio Grande. Pelotas foi um dos municípios mais prósperos devido à produção de charque e seu porto, assim como Rio Grande pela sua posição estratégica de cidade portuária. Entretanto, ao longo do século XX a região viveu períodos cíclicos de crescimento e declínio devido à atividade portuária de Rio Grande, sendo o último ciclo positivo na década de 2000.

Segundo Gray (2004), a geodiversidade é princípio básico na definição de áreas protegidas, para além da consideração apenas dos aspectos biológicos, sendo útil para a conservação dos elementos abióticos e a avaliação de recursos naturais não biológicos, com a incorporação dos mesmos em políticas de desenvolvimento locais, através de uma visão de planejamento que integre a conservação e a gestão sustentável da natureza.

Para Forte (2014), a qualidade dos planos de ordenamento territorial é diretamente proporcional à qualidade da informação disponibilizada, incluindo o mapeamento da geodiversidade, que permite discernir sobre a variação da mesma em escala local, regional, nacional ou supranacional.

Devido aos aspectos mencionados e aos impactos que a urbanização, as infraestruturas e as atividades econômicas da AUSul podem gerar no ambiente, se considerou relevante a caracterização de sua geodiversidade e posterior identificação de possíveis conflitos entre usos da terra e a geodiversidade, para fins de ordenamento territorial e planejamento ambiental da região.

Para o desenvolvimento da pesquisa, esta dissertação é dividida em cinco capítulos, sendo este primeiro introdutório; seguido do capítulo 2 que discorre sobre o referencial teórico do estudo (ordenamento territorial e planejamento ambiental, aglomeração urbana e geodiversidade); do capítulo 3 que apresenta a metodologia utilizada; o capítulo 4 onde são discutidos os resultados; e o capítulo 5 onde são feitas considerações finais sobre a pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os conceitos que norteiam e articulam esta pesquisa são a geodiversidade, o planejamento ambiental e o ordenamento territorial e a aglomeração urbana que são explanados a seguir.

2.1 GEODIVERSIDADE

Nosso planeta tem uma natureza não viva diversa e rica, que raramente é apreciada pela sociedade moderna, cuja qual não seria viável sem toda essa geodiversidade (BRILHA *et al.*, 2018). Ela condiciona a biodiversidade, através de condições abióticas indispensáveis para a subsistência, e determinou o desenvolvimento da espécie humana em particular, pela disponibilidade de alimento, condições climáticas favoráveis, locais de abrigo, materiais para construção, minerais, condições para implantação de cidades e a evolução da civilização, etc. (BRILHA, 2005)

Na década de 1940 o termo geodiversidades foi cunhado pelo geógrafo argentino Federico Alberto Daus, no contexto da geografia cultural, se referindo ao mosaico de paisagens e diversidades culturais do espaço geográfico e as complexidades territoriais, em diferentes escalas, relacionadas aos habitats humanos (SERRANO; RUIZ-FLAÑO, 2007a).

Desde meados da década de 1990, precisamente em 1993, logo após a Conferência de Malvern sobre Conservação Geológica e Paisagística, ocorrida em 1993 no Reino Unido, o conceito de geodiversidade foi introduzido por vários geocientistas e hoje é internacionalmente aceito (BRILHA *et al.*, 2018; GRAY, 2004).

Uma das primeiras tentativas de definição desse conceito é de Sharples (1995), para quem a geodiversidade seria a diversidade de características geológicas, geomorfológicas e de solo, de assembleias, sistemas e processos.

Já para Kozlowski (2004), geodiversidade seria a variedade natural da superfície terrestre, se referindo também à geologia, geomorfologia e solos, mas acrescentando as águas superficiais e sistemas criados tanto por processos naturais (endógenos e exógenos) quanto pela atividade humana.

Para Brilha (2005), a definição da Sociedade Real para a Conservação da Natureza (RSNC, sigla em inglês), do Reino Unido, é das mais importantes:

A geodiversidade consiste na variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra. (BRILHA, 2005, p. 17)

Serrano e Ruiz-Flaño (2007a) definem a geodiversidade como a variabilidade da natureza abiótica, incluindo elementos e processos litológicos, tectônicos, geomorfológicos, solo, hidrológicos e topográficos na superfície da terra e nos mares e oceanos, juntamente com sistemas gerados por processos físicos naturais, endógenos e exógenos, e humanos, que cobrem a diversidade de elementos e sítios.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) define geodiversidade como o estudo da natureza abiótica, ou meio físico, que é formada por uma variedade de ambientes, composições, fenômenos e processos geológicos que originam paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais propiciando que a vida na Terra se desenvolva, tendo como intrínsecos os valores cultural, estético, econômico, científico, educativo e turístico (CPRM, 2008)

Martínez *et al.* (2008) compreendem a geodiversidade como a diversidade natural de elementos geológicos e seus processos a partir da quantidade, da distribuição e da frequência dos mesmos.

Para Benito-Calvo *et al.* (2009), a geodiversidade é definida por aspectos fundamentais de uma paisagem, ou seja os fatores físicos (litologia, estrutura, relevo, solos), porém fatores biológicos e a percepção subjetiva do observador também são importantes para a paisagem.

Já para Gray (2013), geodiversidade é a variedade natural das características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas, incluindo suas assembleias, estruturas, sistemas e contribuições para a paisagem. Ambos têm a geodiversidade como aspecto da paisagem e colocam os humanos como seu componente.

O conceito da geodiversidade tem oscilado entre autores que a consideram apenas como “diversidade geológica”, sendo condicionada principalmente pelos aspectos geológicos da paisagem, e outros que a entendem como a variedade da natureza abiótica da superfície terrestre, de forma mais ampla (SERRANO; RUIZ-FLAÑO, 2007a). Isso se reflete nas concepções usuais de geopatrimônio e geoconservação que se referem principalmente ao patrimônio geológico. Alguns autores também consideram as atividades humanas como geradoras de processos constituintes da geodiversidade.

Tanto a biodiversidade, como diversidade biótica, ou seja, fauna, flora e microrganismos, e a geodiversidade, como diversidade abiótica, são estruturas e dinâmicas de elementos que compõe a diversidade natural da Terra. Os elementos abióticos apoiam a funcionalidade dos sistemas terrestres e marítimos e sustentam a vida (SERRANO; RUIZ-FLAÑO, 2007a).

Segundo Munhoz e Lobo (2018), "grande parte dos elementos da geodiversidade está indiretamente amparada pela legislação brasileira", mesmo não aparecendo o termo "geodiversidade", seus elementos são identificados como recursos ambientais, paisagens naturais notáveis, patrimônios arqueológico, paleontológico, ecológico e científico, dentre outros.

Serrano e Ruiz-Flaño (2007b), propuseram uma sistematização dos elementos que compõe a geodiversidade da Terra, com cinco categorias e 15 subcategorias, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Elementos da geodiversidade da Terra

Topografia	Energia	
	Rugosidade	
Geologia	Materiais	Minerais
		Litologia
		Depósitos superficiais
		Fósseis
	Tectônica	
Geomorfologia	Estrutura	
	Morfoestrutura	
	Sistema morfogenético	
	Processos	
	Relevo de erosão	
	Relevo de acumulação	
	Microrrelevo	
Hidrologia	Estado da água	Líquido
		Neve
		Gelo
		Glacial
	Elementos	Oceano
		Mares
		Rios
		Nascentes
		Áreas úmidas
		Lagos/lagoas
Pedologia	Ordens	
	Subordens	

Fonte: Serrano e Ruiz-Flaño (2007b), adaptado pelo autor

Já Gray (2004), a partir dos elementos, propõe a valoração da geodiversidade através de uma sistematização dos seus valores intrínsecos, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Valores da geodiversidade

Valor intrínseco		Natureza abiótica livre de avaliações humanas
Valor cultural	Folclore	-
	Arqueológico/ histórico	Parque Nacional da Serra da Capivara (São Raimundo Nonato, Piauí)
	Espiritual	-
	Senso de lugar	Corcovado (Rio de Janeiro)
Valor estético	Paisagens locais	Pôr-do-sol do Guaíba (Porto Alegre)
	Geoturismo	Cânions dos Aparados da Serra (RS/SC)
	Atividades de lazer	Escalada, <i>rafting</i>
	Apreciação remota	Fotografia, cinema, televisão
	Atividades voluntárias	Construção de trilhas
	Inspiração artística	Literatura, pintura, música
Valor econômico	Energia	Petróleo, gás, hidroeletricidade, geotérmica
	Minerais industriais	Potássio, caulinita
	Minerais metálicos	Ferro, cobre, ouro
	Minerais de construção	Agregado, calcário
	Gemas	Diamante, safira
	Fósseis	Dinossauro
	Solo	Agricultura
Valor funcional	Plataformas	Construção de infraestruturas
	Armazenamento e reciclagem	Petróleo, turfa
	Saúde	Nutrientes, paisagens terapêuticas
	Enterro	Cemitério, saneamento
	Controle de poluição	Solo e rocha como filtro para água
	Química da água	Água mineral
	Solo	Agricultura
	Geossistemas	Continuidade do processo fluvial
	Ecossistemas	Biodiversidade
Pesquisa e educação	Descoberta científica	Geoprocessos, geotecnologia
	História da Terra	Evolução, história geológica, geoarqueologia
	História da pesquisa	Atividade ígnea
	Monitoramento ambiental	Mudança do nível do mar
	Educação e treinamento	Campos de estudo, treinamento profissional

Fonte: Gray (2004), adaptado pelo autor

Nesse sentido, a geodiversidade claramente contribui para o estoque de capital natural, porém, diferentemente dos recursos bióticos que em boa parte são renováveis, os recursos abióticos não o são. O Fórum Mundial sobre Capital Natural (WFNC, sigla em inglês) define capital natural como os estoques mundiais de ativos naturais que incluem geologia, solo, ar, água e todos os seres vivos (WFNC, 2020).

Por ativo natural o Sistema de Contabilidade Econômica Ambiental das Nações Unidas (SEEA) entende como os componentes naturais vivos (bióticos) e não vivos (abióticos) da Terra, constituindo juntos o ambiente biofísico que pode trazer benefícios para a humanidade. Ou seja, capital natural engloba os serviços ecossistêmicos e os serviços geossistêmicos, entretanto, historicamente os serviços ecossistêmicos não consideram a natureza abiótica, ou apenas quando interage com a natureza biótica (BRILHA *et al.*, 2018).

Os conceitos de biodiversidade e serviços ecossistêmicos reforçaram o desequilíbrio na conservação da natureza entre elementos bióticos e abióticos. A sociedade moderna depende dos serviços dos ecossistemas e dos geossistemas, sendo necessária uma abordagem equilibrada no manejo dos recursos naturais (GRAY, 2011).

Brilha *et al.* (2018) classificam os benefícios da geodiversidade de acordo com a abordagem ecossistêmica da Avaliação dos Ecossistemas do Milênio (EM), apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação dos benefícios da geodiversidade

Serviços ecossistêmicos	Divisão	Benefícios	Benefício	Gênese
Regulação: condições que permitem a existência de vida e sociedade humana	Atmosfera	Circulação dinâmica	Ecológico/ Humano	Bio/Geo
		Química atmosférica		
		Qualidade do ar e regulação do clima		
		Ciclo da água		
	Geosfera/ Hidrosfera	Ciclo das rochas		
		Ciclo da água		
		Carbono e outros ciclos biogeoquímicos		
		Sequestro de carbono (formação de rochas carbonáticas...)		
		Armazenamento e regulação do clima		
		Regulação da erosão do solo		
		Regulação de desastres naturais (inundações, movimentos de massa...)	Humano	
Regulação da qualidade da água devido à circulação através de rochas e sedimentos				

(Continua)

Quadro 3 - Classificação dos benefícios da geodiversidade

(Conclusão)

Serviços ecossistêmicos	Divisão	Benefícios	Benefício	Gênese
Suporte: das condições de vida e desenvolvimento social	Solo	Intemperismo das rochas e desenvolvimento do solo para agricultura e silvicultura	Ecológico/ Humano	Bio/Geo
		Provisão de habitat		
	Água	Suporte de vida	Ecológico	
		Diversidade de habitats		
		Plataforma para transporte		Humano
	Rochas de superfície e formas terrestres	Provisão de habitat (solo oceânico, fontes termais, falésias, pântanos, costas) e estabelecimento de corredores ecológicos	Ecológico	Geo
		Plataforma de infraestruturas (estradas, barragens, produção de energias renováveis...) e desenvolvimento urbano	Humano	
	Rochas subterrâneas e formas terrestres	Enterro e armazenamento (aterro municipal, armazenamento de resíduo radioativo, cemitérios)	Ecológico	
Provisão de habitat (cavernas)				
Provisão: de recursos renováveis e não renováveis que são fundamentais para a vida e a sociedade	Nutrientes	Nutrientes inorgânicos essenciais para a vida	Ecológico/ Humano	Bio/Geo
	Comida e bebida	Água doce e sal mineral	Humano	Geo
	Água	Uso agrícola, industrial e doméstico		
	Materiais de construção	Pedras de construção e ornamentais		
		Cimento, agregados...		
		Aço...		
		Vidro...		
	Minerais industriais e metálicos	Veículos, computadores, telefones celulares, eletrodomésticos...		
		Baterias...		
		Fertilizantes, produtos farmacêuticos...		
		Cerâmica, plásticos, refratários, papel...		
		Próteses, implantes, placas e parafusos cirúrgicos...		
	Recursos energéticos	Petróleo e gás natural		
		Carvão		
		Urânio		
Calor geotérmico				
Hidroelétricas, marés...				
Produtos ornamentais	Pedras preciosas, joalheria (ouro, prata, platina...)			
Cultural: contribuição do ambiente físico para o desenvolvimento de atividades culturais	Bem-estar e saúde	Hidroterapia (spas)	Humano	Geo
		Inspiração artística		
		Paisagens naturais para saúde física e mental		
	Recreação	Atividades de turismo (trilhas para pedestres, mirantes, cavernas...)		
		Esporte (escalada em rocha...)		
	História humana	Sítios sagrados e históricos		
		Uso de pedra em monumentos e outros edifícios		
	Conhecimento	História da evolução da Terra		
		Origem e evolução da vida		
		Paleoclimas e paleoambientes		

Fonte: Brilha *et al.* (2018), adaptado pelo autor

A geodiversidade compreende a dinâmica e os elementos abióticos do geossistemas. Sendo assim, o mapeamento e a análise estatística espacial das unidades físicas permitem quantificar, descrever e comparar diferentes paisagens, fornecendo uma ferramenta objetiva e útil para entender a singularidade e a geocomplexidade das paisagens (BENITO-CALVO *et al.*, 2009).

2.2 AVALIAÇÃO DA GEODIVERSIDADE

Se o conceito de geodiversidade está relativamente consolidado, o mesmo não se pode dizer de um método de caracterização e avaliação da mesma. Os métodos propostos até agora apresentam inconsistências, sendo a principal quanto à replicabilidade, ou seja, a incapacidade de utilização em diferentes áreas (SANTOS, D. S. *et al.*, 2017).

Para Zwolinski, Najwer e Giardino (2018), os estudos da geodiversidade incluem questões metodológicas chave semelhantes às que são relevantes para a observação em geomorfologia, como amostragem, medição, escalas, classificação e erros, surgindo a necessidade de padronização da terminologia especializada dessas áreas, codificando o conhecimento da geodiversidade em uma linguagem formal comum. Além disso, Gray (2018) tem no Sistema de Informações Geográficas (SIG) um cânone indispensável, sendo um banco de dados moderno e um modelo gráfico para representação de dados.

Segundo Brilha *et al.* (2018), a definição da caracterização ou avaliação da geodiversidade parte de três questões básicas, sendo: o que será estudado, quais elementos da geodiversidade estão presentes e como se distribuem em determinada área; quais os objetivos do estudo, seja para planejamento do uso da terra, educativo, etc.; e quais os critérios a utilizar para o estudo e a disponibilidade de dados. Já Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) consideram como mais importantes: o propósito da avaliação; o tipo de paisagem da área de estudo e sua dimensão espacial; e, principalmente, a disponibilidade de dados em escala apropriada.

Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) elaboraram um conjunto de critérios para auxiliar a definição do método de avaliação da geodiversidade, conforme o Quadro 4. Como primeira ordem de critério estão as definições do objetivo, do assunto, do âmbito, das escalas espacial e temporal, critérios, técnicas (métodos) e apresentação da avaliação. Quanto aos métodos de avaliação da geodiversidade, os autores

estabelecem dois critérios: relativo a fonte de dados, podem ser diretos ou indiretos; e relativo ao procedimento de avaliação podem ser qualitativos, quantitativos ou quali-quantitativos.

Quadro 4 - Critérios para metodologia de avaliação da geodiversidade

Atributo	Primeiro critério de ordem	Segundo critério de ordem
Objetivo	Cognitivo	-
	Prático	
Assunto	Ambiente natural (abordagem holística)	-
	Conjunto de componentes do ambiente natural (abordagem seletiva)	
	Único componente do ambiente natural (abordagem arbitrária)	
Âmbito	Propriedades estruturais	-
	Propriedades funcionais	
	Propriedades sistêmicas	
Escala espacial	Local	-
	Regional	
	Nacional	
	Continental	
	Global	
Escala temporal	Passado	-
	Presente	
	Futuro	
Critério de avaliação	Absoluto	-
	Relativo	
Técnicas/métodos	Avaliação qualitativa	Intuitivo - a priori
		Afetivo
		Especialista (verbal, ponto, código)
	Avaliação quantitativa	Avaliação contínua de dados
		Avaliações de dados discretos
		Avaliações numéricas
	Avaliação quali-quantitativa	Álgebra de mapas
Avaliação multicritério (incluindo análise booleana, WLC, OWA, AHP)		
Apresentação	Descritiva	Especificação
		Tabular
	Gráfica	Cartográfica
		WebGIS, mapas interativos animados
		Multimídia

Fonte: Zwolinski, Najwer e Giardino (2018), adaptado pelo autor

Nota: AHP, OWA, e WLC – siglas usuais em inglês para, respectivamente, Processo de Hierarquia Analítica; Média Ponderada Ordenada; Combinação Linear Ponderada.

2.2.1 Avaliação da geodiversidade quanto à fonte de dados

Quanto à fonte de dados, o método pode ser direto ou indireto.

Método direto

O método direto implica em trabalho de campo, geralmente mais trabalhoso e caro e sua replicabilidade é limitada.

Método indireto

O método indireto utiliza cálculos em dados matriciais e vetoriais em um SIG, possibilitando avaliar áreas de difícil acesso e em escalas regionais menores, oferece economia de tempo e recursos. Por outro lado, o processamento e a análise dos dados são mais complexos que os métodos diretos (ZWOLINSKI; NAJWER; GIARDINO, 2018).

2.2.2 Avaliação da geodiversidade quanto à abordagem

Abordagem qualitativa

A abordagem qualitativa trata da descrição dos elementos da geodiversidade em determinada área, tendo um resultado cartográfico muito semelhante aos mapeamentos geológicos (BRILHA *et al.*, 2018). Ela baseia-se na experiência e conhecimento de especialistas que descrevem os elementos, explicam seus valores e os classificam.

Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) consideram que a abordagem qualitativa apresenta elevado grau de subjetividade e ambiguidade, com resultados poucas vezes comparáveis com outros estudos em outras áreas; dividem os métodos qualitativos em três grupos: documental descritivo, sistema especialista e baseados em valores e benefícios. O primeiro é o mais simples, baseado em descrições verbais, escritas e materiais documentais, como fotografias, desenhos, mapas e diagramas. O segundo grupo constrói uma escala de classificação a partir da literatura e de

especialistas. Já o terceiro grupo atribui valores com base nos bens e serviços que a população obtém dos elementos abióticos da natureza.

Abordagem quantitativa

A abordagem quantitativa se baseia na aplicação de algoritmos sobre dados primários e/ou secundários. A maioria dos parâmetros deriva de medições de campo, mapeamentos e interpretação de dados e imagens orbitais; outros de operações matemáticas e estatísticas. O procedimento proposto por Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) baseia-se na construção de índices e métricas de paisagem e em álgebra de mapas em SIG. Segundo esses autores, os índices e as métricas de paisagem servem para diminuir a quantidade de dados e torná-los comparáveis, medindo também a intensidade de determinado componente ou conjunto de componentes do ambiente natural, enquanto a álgebra de mapas manipula dados geográficos, geralmente matriciais, por expressões matemáticas e seus resultados podem ser usados em outros cálculos baseados em métricas de paisagem, agregação espacial e modelagem estatística (ZWOLINSKI; NAJWER; GIARDINO, 2018).

Geralmente os dados são organizados em planos de informação, cada qual representando uma característica ou conjunto de características do ambiente (litologia, relevo, hidrografia, solos, etc.), que então passam por operações algébricas (adição, subtração, exponencial, logarítmica, trigonométrica, etc.) e/ou lógicas (conjunções, alternativas, etc.) tendo como resultado o mapeamento da geodiversidade de determinada área. Essa abordagem é holística e precisa, porém apresenta como limitação a qualidade dos dados de entrada muitas vezes parciais ou incomparáveis, além dos mesmos critérios não serem utilizados para paisagens diferentes, como planícies e montanhas (ZWOLINSKI; NAJWER; GIARDINO, 2018).

Abordagem quali-quantitativa

Na abordagem híbrida quali-quantitativa a definição dos critérios e dados de entrada é feita qualitativamente a partir da abordagem especializada e a avaliação propriamente é feita quantitativamente por parâmetros numéricos. Os métodos mais usados são a sobreposição através de álgebra de mapas e a Análise Hierárquica de Processos (AHP).

Segundo Zwolinski, Najwer e Giardino (2018), a abordagem quali-quantitativa apresenta como vantagens a integração de dados de diferentes fontes e conteúdo, porém um limitador é a replicabilidade dos critérios quantitativos.

Serrano e Ruiz-Flaño (2007b) desenvolveram um índice para determinação da geodiversidade de uma área em que soma os elementos contidos nela e considera o coeficiente de rugosidade com papel importante, pois representa as variações topográficas, micro e topo-climáticas, e os fluxos de energia e materiais nas encostas, funcionando como integrador dos elementos abióticos na área de estudo.

Hjort e Luoto (2010) utilizaram o índice de Serrano e Ruiz-Flaño (2007b) juntamente com o método de sobreposição para gerar diversidade de processos geomorfológicos, diversidade temporal (idade dos elementos da geodiversidade) e a geodiversidade total.

Já Pereira *et al.* (2013) criaram um mapa de geodiversidade a partir da soma dos mapas de subíndices de geodiversidade, correspondendo às classes avaliadas (geologia, geomorfologia, pedologia, paleontologia, hidrografia e minerais).

Pellitero, Manosso e Serrano (2014) utilizam métricas de paisagem para calcular a geodiversidade, especificamente o índice de riqueza, considerando que a geodiversidade avalia a variedade de elementos abióticos, e não a qualidade, são atribuídos o mesmo valor aos elementos utilizados. Já no trabalho de Forte (2014), a análise Kernel mostra a densidade de elementos abióticos em uma área.

Quanto à definição dos elementos da geodiversidade para realização de um estudo, Serrano e Ruiz-Flaño (2007a) propuseram uma sistematização conforme Quadro 1 (p. 23). Manosso e Nóbrega (2015) utilizaram os elementos para quantificar a geodiversidade conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Elementos para método de quantificação e índice de geodiversidade

Elementos		Método
Geologia	Formações	Quantidade de formações que ocorrem em cada unidade.
	Rochas	Quantidade de rochas diferentes que ocorrem em cada unidade.
	Ambientes passados	Quantidade de ambientes passados diferentes registrados em cada formação na unidade.
	Fósseis	Quantidade de fósseis diferentes encontrados em cada unidade.
	Densidade de lineamentos	a) Extraído por SRTM*; b) Densidade de linhas; c) Três classes: baixo (0), médio (7) e máximo (14).
Solos	Classes de solo	Quantidade de diferentes classes de solo em cada unidade.
Hidrografia	Tipo de drenagem	0 - unidade não apresentou padrão de drenagem específico; 7 - drenagem controlada por fatores físicos criando padrões específicos até 50% da área da unidade; 14 - mais de 50% da área da unidade apresenta padrão de drenagem específico.
	Densidade de drenagem	a) Extraído e vetorizado a partir de dados SRTM*; b) Densidade de linhas; c) Três classes: baixo (0), médio (7) e máximo (14).
Topografia	Orientação de vertentes	Quanto maior a distribuição das orientações, mais diversa a área: a) Oito classes: norte, nordeste, leste, sudeste, oeste, sul, sudoeste e oeste; b) Desvio padrão dos valores de pixel para cada unidade; c) Três classes: baixo (0), médio (7) e máximo (14).
	Rugosidade	Variáveis incluídas no índice de geodiversidade de Serrano e Ruiz-Flaño. Mapa de declividade a partir de dados SRTM*. Geração do índice de rugosidade. Normalização entre 0 e 1.
	Relação de alívio	Intervalo entre altitudes máxima e mínima. Três classes: baixo (0), médio (7) e máximo (14).
Geomorfologia	Tipos de relevo	Quantidade de tipos de relevo em cada unidade a partir de medições de campo, base cartográfica existente e dados SRTM*.

Fonte: Manosso e Nóbrega (2015), adaptado pelo autor

* Missão de Topografia de Radar de Ônibus Espacial (SRTM, sigla em inglês)

Rodrigues e Bento (2018) propõem elementos um pouco diferentes e são mais específicos quanto às fontes de dados (Quadro 6).

Quadro 6 - Exemplos de temas e elementos para índice de geodiversidade

Tema	Elemento	Exemplos	Fonte
Geologia	Litologia	Granitos, gnaisses, arenitos, basaltos	Mapa litológico
	Estruturas	Falhas, lineamentos	Mapa estrutural
	Afloramentos	Naturais/antrópicos	Mapa geológico
Relevo	Declividade	Classes de declividade	MDE*, cartas topográficas
	Rugosidade	Índice de rugosidade	MDE*, cartas topográficas
	Altitude	Divisão de curvas de nível	MDE*, cartas topográficas
	Sistemas morfogênicos	Tipologias (fluvial, eólico, etc.)	Mapa geomorfológico
Solos	Classe de solo	Latosolo, Neossolos, etc.	Mapa pedológico
	Profundidade	Em metros	
Hidrologia	Declividade do canal	Classes	Cálculo
	Relação declividade/extensão	Índice	Cálculo
	Cachoeira	Divisões métrica/altitudes	Mapa topográfico
	Nascentes	Posicionamento, tipo	Mapa topográfico

Fonte: Rodrigues e Bento (2018), adaptado pelo autor

* Modelo Digital de Elevação (MDE)

2.3 PLANEJAMENTO AMBIENTAL E ORDENAMENTO TERRITORIAL

O planejamento regional, como conhecemos modernamente, teve início nos países onde primeiro se desenvolveu a sociedade urbano-industrial, ou seja, Reino Unido, Holanda, Alemanha e Estados Unidos, na tentativa de minimizar os efeitos negativos da industrialização e da urbanização no início da primeira Revolução Industrial. Os efeitos negativos da ineficiência econômica, da deterioração ambiental e da desigualdade social gerados pela evolução espontânea do território estão na origem do surgimento do ordenamento territorial como disciplina (GALIANA; VINUESA, 2010).

Há duas acepções básicas para o ordenamento do território, segundo Galiana e Vinuesa (2010): a primeira o considera como planejamento físico de escalas regional e sub-regional; e a segunda, de maneira mais ampla, inclui as políticas e planos com incidência territorial. Os mesmos autores definem ordenamento do território como a vontade do poder público de, racionalmente, guiar a ordem territorial e suas transformações com objetivo de minimizar consequências indesejadas e estimular potencialidades.

Segundo Ory (2008), há muita conexão entre os conceitos de desenvolvimento, meio ambiente e ordenamento territorial. Um dos objetivos do desenvolvimento, na

sua concepção mais atual, é a melhora da qualidade de vida da população. Nesse objetivo se insere a preocupação ambiental. Nesse sentido, o autor aponta dois objetivos para a ordenação territorial, sendo o desenvolvimento equilibrado do território e a ordenação sustentável dos usos do solo, o que implica em ações de realocização para corrigir dois tipos de desordem, um socioeconômico, que afeta as partes desequilibradas do território, e outro físico ou ecológico, que incide nos elementos incompatíveis entre si.

Segundo Pujadas e Font (1998), há duas modalidades de planejamento que incidem no território, o econômico e o físico. O primeiro trata das políticas econômicas incidentes no território, e o segundo, principalmente, do ordenamento do uso do solo. O planejamento físico também pode ser categorizado em três modalidades, sendo o territorial, o urbanístico e o setorial. Os dois primeiros são semelhantes, pois tentam ordenar de forma integral o território, decompondo em unidades menores segundo homogeneidade e função, sendo o planejamento urbanístico circunscrito ao município e ao uso do solo, enquanto o territorial trata de elementos estruturantes regionais. Já o planejamento físico setorial dá atenção à distribuição geográfica de uma determinada função e, geralmente, se distingue em três grandes áreas: infraestrutura, equipamentos e meio ambiente (PUJADAS; FONT, 1998).

Santos (2004), quando define o planejamento ambiental, o diz como o conjunto de ações adequadas à potencialidade, à vocação e à capacidade de suporte de uma determinada região, visando um desenvolvimento harmônico e a manutenção da qualidade dos meios social, físico e biológico. Portanto, orientado pelas potencialidades e fragilidades da região, o ordenamento territorial pode considerar a vocação local para guiar a exploração dos recursos naturais e o uso do solo, determinando a proteção aos ecossistemas como limite para as demandas sociais e estas como redutoras das demandas econômicas.

No Brasil, no seu Período Colonial, pela necessidade de consolidar as fronteiras, as ações governamentais eram bastante territorializadas; Já na República Velha, o objetivo era consolidar a infraestrutura estratégica, como ferrovias e portos (RÜCKERT, 2001). A partir da década de 1930, o estado brasileiro passou a ter forte presença na área social e de infraestrutura, e seu planejamento tinha o objetivo de modernizar o país baseando-se na indústria; Essa política veio a ser chamada de nacional-desenvolvimentismo ou nacional-populismo (FIORI, 1995). A partir desse período são elaborados os primeiros planos territoriais e econômicos (RÜCKERT,

2001). Entre as décadas de 1950 e 1960 são criadas as superintendências de desenvolvimento regionais e durante o período da Ditadura Militar, os planos previram forte investimento estatal em infraestrutura e energia (CARGNIN, 2012).

Entre as décadas de 1970 e 1990, o planejamento territorial não foi prioridade das políticas dos governos, sejam estaduais ou federal. Entretanto, é criada a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) que estabelece como um de seus instrumentos o zoneamento ambiental. A mudança do contexto econômico para globalização recolocou o território no centro das políticas de desenvolvimento regional, principalmente com a questão da relação entre o local e o global. 20 anos depois o zoneamento ambiental é regulamentado sob a forma do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) (BRASIL, 2002), que deveria ser elaborado por municípios, estados, Distrito Federal e União para ser o principal instrumento de planejamento ambiental do país.

Ainda em 2001, foi criado o Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001), importante marco para o planejamento urbano no país, que tornou obrigatório para médios e grandes municípios a elaboração do plano diretor municipal, além de criar vários instrumentos para a gestão urbana. Nos anos 2000, após tentativas de se criar uma Política Nacional de Ordenamento Territorial (CARGNIN, 2012), o tema do território já arrefecia, tendo um último fôlego recentemente, em 2015, quando criado o Estatuto da Metrópole (BRASIL, 2015), que torna obrigatório para regiões metropolitanas e aglomerações urbanas institucionalizadas a elaboração de plano integrado de desenvolvimento.

2.4 AGLOMERAÇÃO URBANA

As definições de aglomeração urbana e área metropolitana variam em cada país, seja conceitualmente ou para uso estatístico (UN-HABITAT, 2017). No Brasil, aglomeração urbana possui uma definição institucional, expressa no Estatuto da Metrópole (BRASIL, 2015):

I - aglomeração urbana: unidade territorial urbana constituída pelo agrupamento de 2 (dois) ou mais Municípios limítrofes, caracterizada por complementaridade funcional e integração das dinâmicas geográficas, ambientais, políticas e socioeconômicas (BRASIL, 2015, Art. 2º).

Ou seja, uma aglomeração urbana é uma unidade delimitada pelos municípios que a constituem, incluindo as áreas rurais, e não apenas pela mancha urbana, e é caracterizada pela complementariedade e integração de funções e dinâmicas entre suas unidades administrativas.

A Organização das Nações Unidas (ONU) considera aglomeração urbana como um território habitado contíguo, sem considerar limites administrativos, cuja população apresenta densidade de nível urbano (UN-HABITAT, 2017), a partir de 50 mil habitantes e 1.500 hab/km² (STATCOM, 2020), ou seja, a mancha urbana propriamente. Já a área metropolitana é associada a uma área urbana com núcleo densamente povoado e territórios vizinhos menos populosos, constituída de vários municípios, como cidades satélites, vilas e áreas rurais que estão vinculados economicamente ao núcleo urbano (UN-HABITAT, 2017). Aqui, além da mancha urbana extensa, densamente populosa em seu núcleo, considera-se os vínculos econômicos com territórios próximos.

Para Davidovich e Lima (1975), as aglomerações urbanas são formadas pelo processo de metropolização, e teriam duas categorias: a de nível metropolitano e a de nível abaixo do metropolitano. A primeira resultaria da expansão de uma cidade central com população mínima de 100 mil habitantes; já a segunda, se formaria entorno de duas cidades-núcleo, cujas populações somadas devem ter pelo menos 75 mil habitantes. Seus limites seriam definidos por dois critérios: o processo de urbanização e metropolização, a partir de índices demográficos e econômicos mínimos; e seu grau de integração econômica e social entre os municípios que a compõe, representada pela migração pendular, pelos fluxos de mercadorias e capitais, linhas de transporte coletivo, entre outros (DAVIDOVICH; LIMA, 1975).

Ou seja, para os autores, as áreas metropolitanas são aglomerações urbanas mais extensas, com maior população e urbanização mais intensa.

Soares (2013) apresenta uma definição de aglomeração urbana mais próxima do Estatuto da Metrópole, diferenciando das áreas metropolitanas:

Agrupamento de municípios limítrofes com urbanização contínua ou com tendências nesse sentido, podendo existir um ou mais centros urbanos (polos) que polarizam municípios do entorno. Apresenta complexidade média das atividades urbanas, bem como existência de integração funcional de natureza econômico-social. Verificam-se, ainda, concentração populacional média, densidade demográfica média, taxa de crescimento anual positiva, formando espaços contíguos de interesse comum, passando a exigir planejamento integrado para funções de interesse comum e arranjos institucionais

para administração de questões de interesse comum (SOARES, 2013, p. 25).

Segundo Soares (2013), a metropolização é processo típico de sociedades do capitalismo tardio, derivada da urbanização, com elementos mais complexos. Esses espaços urbanos, que reúnem atributos como complexidade urbana, conexões com a economia internacional, condições gerais de produção, mobilidade cotidiana, mercado de trabalho regionalizado e complementaridade de funções, à revelia de denominações legais que recebam, podem ser tratados como espaços metropolizados. Trata-se de processo de diferenciação espacial com concentração populacional, econômica, cultural e da gestão, podendo ser usada como instrumento de política territorial (SOARES, 2013).

Ainda segundo Soares (ibid.), a urbanização contemporânea permite analisar a metropolização seguindo três caminhos: como um processo de concentração das condições de acumulação de capital ou a distribuição desse processo sobre uma área contígua; como a mobilização dos agentes políticos, sociais e econômicos da região; ou como uma maior conexão desses espaços urbanos aos espaços hegemônicos da economia global. É importante também distinguir entre o processo (a metropolização), a forma (a metrópole) e a institucionalidade (região metropolitana) (SOARES, 2013).

A Comissão Estatística da ONU (STATCOM, sigla em inglês), a partir de critérios estatísticos que possam ser utilizados em qualquer país, identifica graus de urbanização e classifica unidades territoriais (STATCOM, 2020):

- Cidades com áreas densamente populosas: unidades onde ao menos 50% dos habitantes estão nos centros urbanos, cuja população é de pelo menos 50 mil habitantes e a densidade de 1.500 hab/km²;
- Cidades com áreas de densidade intermediária: unidades com menos de 50% da população nos centros urbanos e menos de 50% nas áreas rurais;
- Áreas rurais: áreas com menos de 300 hab/km².

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) utiliza as categorias de arranjo populacional e concentração urbana em estudos urbanos e regionais recentes (IBGE, 2008, 2013, 2016; IPEA; IBGE; UNICAMP, 2001a, 2001b). A primeira é definida como:

[...] O agrupamento de dois ou mais municípios onde há forte integração populacional devido aos movimentos pendulares para trabalho ou estudo, ou devido à contiguidade entre as manchas urbanizadas principais. (IBGE, 2016)

Enquanto que a segunda é uma unidade urbana que supera a primeira, e também os municípios isoladamente, em escala de urbanização, e induz um movimento populacional cada vez maior pela busca de oportunidades de trabalho e estudo, correspondente ao padrão capitalista contemporâneo (IBGE, 2016).

O critério para identificação dos arranjos populacionais é a integração, medida pelos movimentos pendulares e pela contiguidade urbana, considerando manchas urbanas com afastamento máximo de 3 quilômetros (IBGE, 2016). A integração ocorre em escalas maiores, intraurbanas, através dos deslocamentos humanos, geralmente da residência para o trabalho ou estudo (VILLAÇA, 2001). Já as concentrações urbanas são os arranjos populacionais ou municípios isolados com mais de 100 mil habitantes, que possuem a urbanização como principal vetor de integração. As médias concentrações urbanas possuem entre 100 mil e 750 mil habitantes e as grandes concentrações são divididas em três faixas: entre 750 mil e 1 milhão de habitantes, entre 1 milhão e 2,5 milhões de habitantes e maiores que 2,5 milhões de habitantes. (IBGE, 2016)

Ainda segundo IBGE (2016), no contexto da globalização, há um entrelaçamento das diferentes escalas territoriais e ampliação da interligação de centros urbanos, reorganizando o trabalho, a economia e as relações de governança, produzindo arranjos populacionais distintos, tendo nos deslocamentos populacionais - para trabalho e estudo – um fator importante no impulso da expansão urbana (IBGE, 2016).

Assim, aglomeração urbana pode se referir a mancha urbana ou conjunto de manchas bastante próximas, independente de limites municipais; a um conjunto de municípios que, apresentando ou não conurbação, possuem integração econômica, de funções e movimento populacional intenso entre eles; ou a uma região administrativa que se baseia nas características acima. A Aglomeração Urbana do Sul (AUSul) pode se enquadrar na última alternativa, sendo constituída por lei (RIO GRANDE DO SUL, 2002), delimitada pelos municípios que a compõe e não apresentando conurbação.

Para Ory (2008), a concepção sistêmica do território o considera como um conjunto de elementos relacionados entre si e que funcionam com certa coesão e formado por três subsistemas: o urbano, o relacional (infraestruturas) e áreas de proteção intercaladas com áreas de produção. Dessa maneira é possível

esquematizar geometricamente o território em pequena escala, sendo os pontos as cidades e assentamentos humanos, as linhas as redes de transporte e comunicação, e as superfícies seriam áreas de influência urbana e de proteção ambiental. Já em grande escala, cidades e assentamentos são superfícies onde devem ser diferenciados e compatibilizados os usos do solo e as áreas de proteção (ORY, 2008).

Nesse sentido, o estudo da geodiversidade, sendo sua identificação, mensuração caracterização e valorização, compõe os estudos que subsidiam o planejamento ambiental, sendo este parte do ordenamento território. No caso das aglomerações urbanas, assentamentos de maior densidade populacional, de edificações e infraestruturas, demandam mais recursos ambientais e conseqüentemente dos benefícios da geodiversidade, merecem especial atenção.

3 METODOLOGIA

Neste estudo é utilizado 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 da área de estudo

S é a área da unidade de estudo, em km²

Os elementos abióticos utilizados para o cálculo do parâmetro Eg foram adaptados dos utilizados por Manosso e Nóbrega (2015), apresentados no Quadro 7. Para Serrano e Ruiz-Flaño (2007b), o coeficiente de rugosidade exerce papel importante no índice de geodiversidade, pois representa as variações topográficas, micro e topo-climáticas, e os fluxos de energia e materiais nas encostas, funcionando como integrador dos elementos abióticos na área de estudo.

Para este estudo, o índice de rugosidade foi obtido no programa QGIS 3.x a partir de dados morfométricos do projeto Topodata, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cujo modelo digital de superfície (MDS) é elaborado a partir de dados obtidos pela Missão de Topografia de Radar de Ônibus Espacial (SRTM, sigla em inglês) da Administração Nacional Aeronáutica e Espacial (NASA, sigla em inglês) dos Estados Unidos, disponibilizados na internet pelo Centro de Dados EROS do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, sigla em inglês). Os dados para a AUSul foram extraídos das folhas 31s54_, 31s525, 32s54_ e 32s525 do Topodata, em formato .tiff.

Quadro 7 - Elementos da geodiversidade para compor os parâmetros do Gd

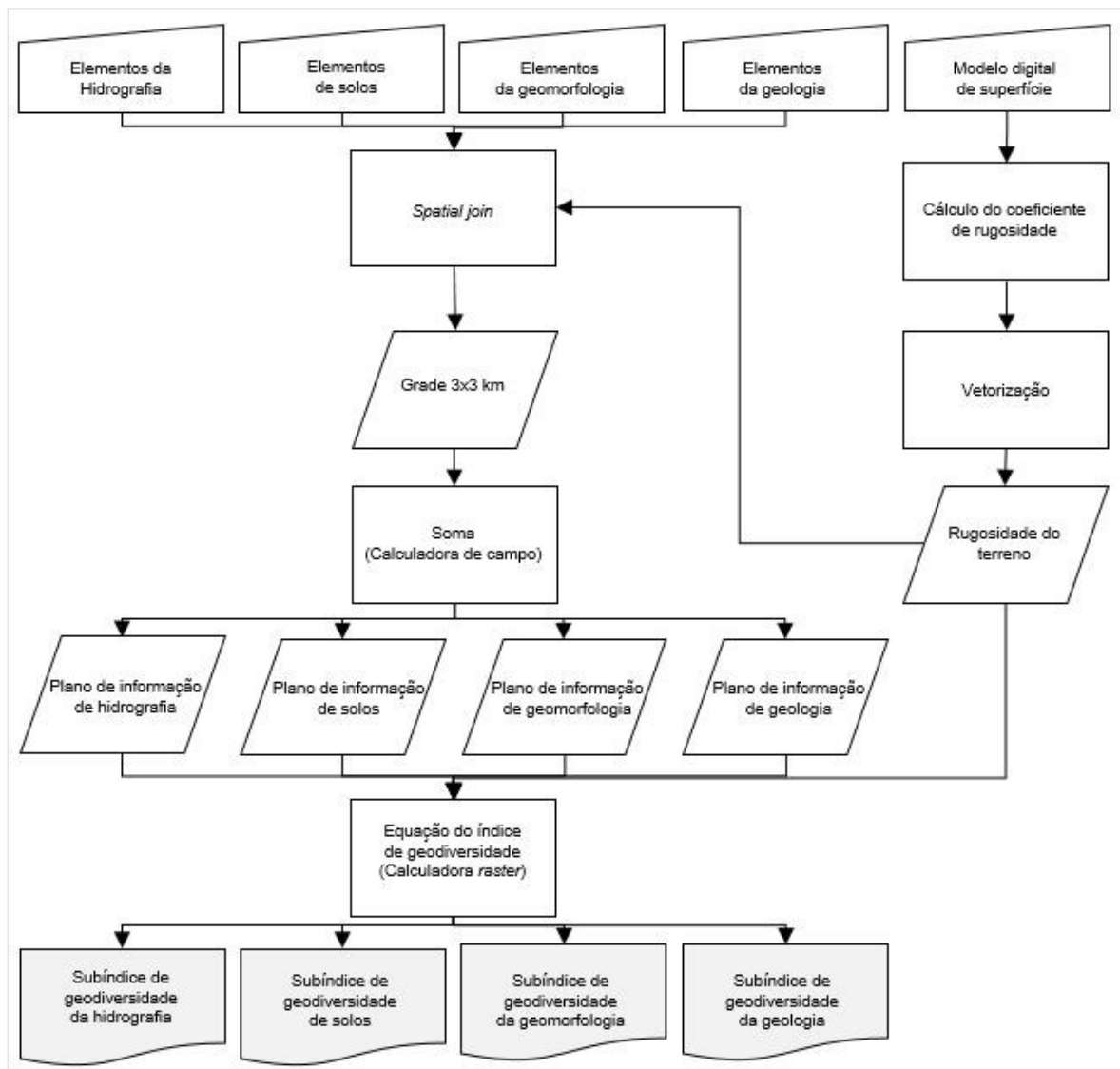
Planos de informação	Elementos (Eg)	Classes
Hidrografia	Hidrografia	Drenagem (rio ou canal) Massa d'água (lagoa, laguna, represa ou açude e oceano) Área úmida
Solos	Classe de solo	Argissolos, Cambissolos, Espodossolos, Gleissolos, Neossolos, Organossolos e Planossolos
	Profundidade	Raso, pouco profundo e profundo
	Fertilidade	Baixa, média e alta
Geomorfologia	Altimetria	0 a 100 metros, 101 a 200 metros, 201 a 300 metros, 301 a 400 metros e maior que 401 metros
	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
Geologia	Litologia	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 e falha sinistral
	Afloramentos	-

Fonte: elaborado pelo autor

Adaptando o método de Manosso e Nóbrega (2015), para obtenção do parâmetro Eg se seguiu o fluxo de trabalho representado no Fluxograma 1 e no Fluxograma 2. No programa QGIS, sobre o dado vetorial de cada elemento, foi sobreposta uma grade vetorial formada por polígonos de 3x3 quilômetros (Figura 2). A utilização da grade visa obter a distribuição do índice de geodiversidade na região de estudo, sendo adotado o polígono com essa dimensão como unidade básica por

ser múltipla da resolução espacial dos dados matriciais usados no estudo, de 30x30 metros, e também se testou dimensões menores, buscando resultados mais detalhados, porém sem sucesso devido a capacidade de processamento do programa e dos equipamentos utilizados até se chegar em resultados satisfatórios com a grade de 3x3 quilômetros.

Fluxograma 1 - Processos para obtenção dos subíndices de geodiversidade



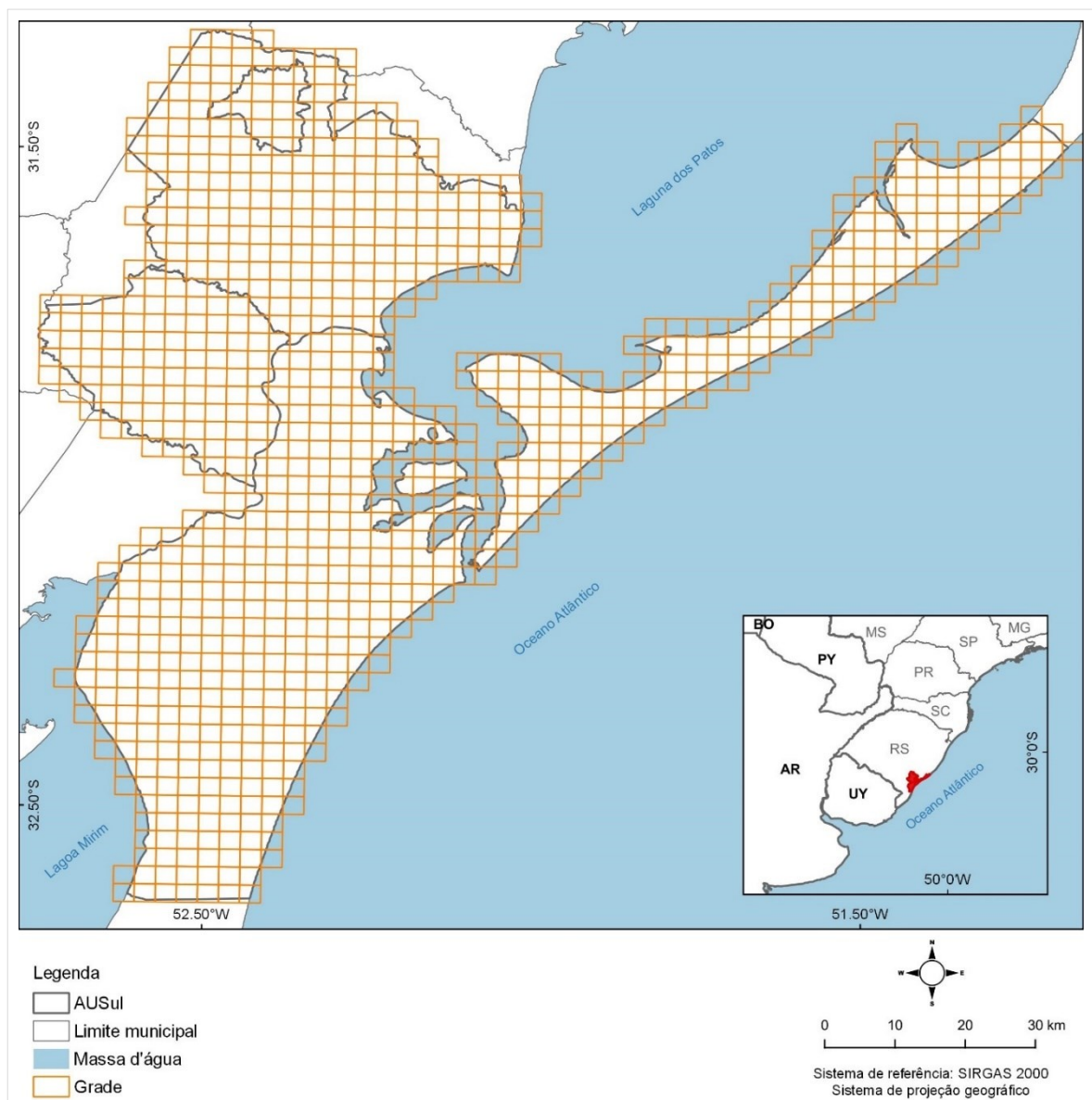
Fonte: elaborado pelo autor

Através do algoritmo *spatial join*, cada elemento foi adicionado ao dado vetorial da grade como uma coluna de atributos, assim se obtendo a quantidade de classes diferentes de cada elemento que ocorrem em cada polígono. A seguir, foram criadas novas colunas de atributos correspondentes aos planos de informação e, utilizando a

calculadora de campo, os elementos foram somados de acordo com seu plano de informação, obtendo-se assim a quantidade ocorrência das classes em cada plano (hidrografia, geomorfologia, solos e geologia).

A seguir, gerou-se um dado matricial para cada plano de informação e após esse procedimento, se utilizou a calculadora *raster* para aplicar a equação (1) e gerar os subíndices de geodiversidade para cada plano de informação (Figura 12).

Figura 2 - Grade utilizada para o cálculo do Gd



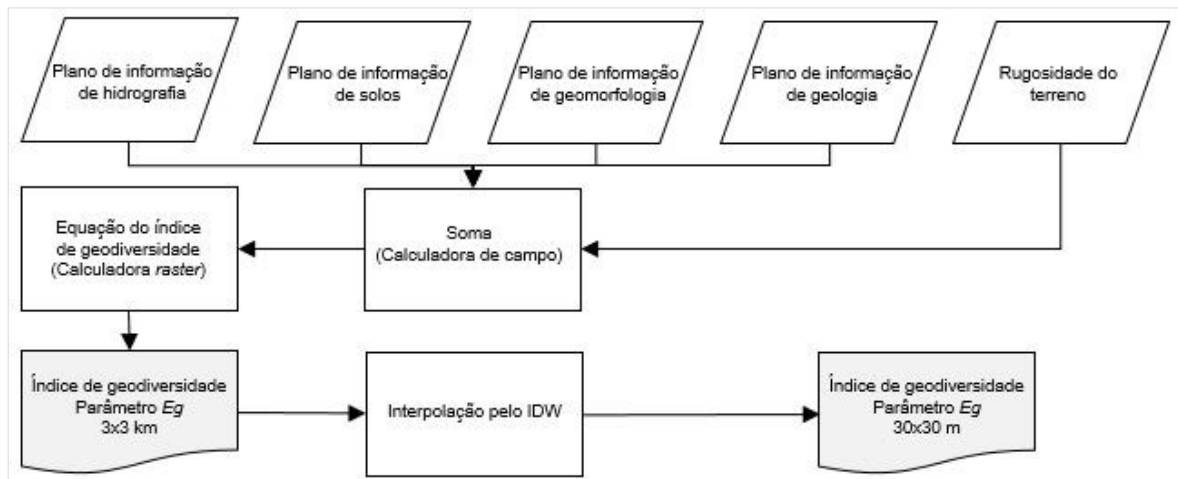
Fonte: elaborado pelo autor

No dado vetorial da grade, criou-se outra coluna para a soma de total das classes que ocorrem em cada polígono, correspondendo assim ao parâmetro E_g total.

Repetiu-se então o procedimento para obtenção dos subíndices aplicando a equação (1) com a calculadora *raster*, gerando o plano de informação matricial do Gd, ou seja, o índice de geodiversidade da AUSul.

Para melhor representar a distribuição da geodiversidade da área de estudo e adiante compará-la com o dado matricial de uso e cobertura da terra, com resolução de 30 metros, aplicou-se o método de interpolação pelo Inverso da Distância ao Quadrado (IDW, sigla em inglês), gerando um dado matricial definido com resolução espacial de 30 metros. O Gd então foi classificado em cinco classes: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto; e o resultado é o mapa de geodiversidade da AUSul (Figura 14).

Fluxograma 2 - Processos para obtenção do índice de geodiversidade



Fonte: elaborado pelo autor

A etapa seguinte foi analisar os conflitos de uso da terra em sobreposição com a geodiversidade da região. Para isso, os dados matriciais Gd e de uso e cobertura da terra foram convertidos em dados vetoriais. Calculou-se as áreas de cada classe de uso e cobertura da terra sobreposta a cada classe de geodiversidade. Também as classes foram agrupadas em duas categorias: antrópica, relativa ao uso, e natural, relativa à cobertura, a fim de comparar os conflitos do uso antrópico com a geodiversidade. Também se calculou as áreas das classes sobrepostas a cada classe de geodiversidade.

O Quadro 8 apresenta os dados utilizados neste estudo. Os limites e sedes administrativas municipais em formato vetorial são do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:250.000 do ano de 2019. Os limites das áreas úmidas

e a hidrografia são de SEMA-RS e FEPAM (2018), na escala 1:25.000. Os dados geológicos são da CPRM (2006b), na escala 1:750.000, compatíveis com a escala 1:250.000. Os dados de solos são dos trabalhos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), desenvolvidos por Cunha (1997), Cunha e Silveira (1996a, 1996b) e Cunha, Silveira e Severo (1996), na escala 1:100.000, atualizados pelo novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2006). Já os limites das unidades de conservação são do Ministério do Meio Ambiente (MMA), de 2019, e da RB da Mata Atlântica são da RBMA (2018), ambos na escala 1:250.000. Os dados de uso e cobertura da terra são do projeto MapBiomias, de 2018, em formato matricial com resolução espacial de 30 metros, compatíveis com a escala 1:100.000.

Quadro 8 - Dados utilizados

Dado	Formato	Escala	Fonte
Limites e sedes político-administrativos	Vetorial	250.000	IBGE (2019)
Áreas densamente edificadas			
Hidrografia		25.000	SEMA-RS e FEPAM (2018)
Áreas úmidas		25.000	SEMA-RS e FEPAM (2018)
Litologia		750.000	CPRM (2016)
Estrutura		750.000	CPRM (2016)
Afloramentos		750.000	CPRM (2016)
Tipos de relevo		750.000	CPRM (2016)
Pedologia (classes, profundidade e fertilidade dos solos)		100.000	Cunha, Silveira e Severo (1996)
			Cunha, Silveira e Severo (1996)
			Cunha e Silveira (1996)
			Cunha e Silveira (1996)
			Cunha (1997)
Unidades de conservação		250.000	MMA (2019)
Limites da RB da Mata Atlântica	250.000	RBMA (2020)	
Cobertura da terra	Matricial	100.000	MapBiomias (2018)
Declividade		100.000 a 250.000	Topodata (2011)
Altitude			
Forma do terreno			
Orientação de vertentes			

Fonte: elaborado pelo autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E TERRITORIAL DA AUSUL

A integração de informações obtidas de pesquisa bibliográfica e produção cartográfica sobre a região sul do Rio Grande do Sul possibilitou propor-se uma caracterização do território que hoje faz parte da Aglomeração Urbana do Sul (AUSul), bem como um diagnóstico socioeconômico e ambiental considerando-se o quadro físico e da ocupação humana (política, econômica e sociocultural) desse espaço.

4.1.1 Ocupação do espaço e conformação territorial da AUSul

Os indígenas do grupo Gê são, provavelmente, os primeiros a se estabelecer no atual Rio Grande do Sul, por volta do século II a.C.; Entretanto, no século XIV, a região da atual AUSul era ocupada por tribos de Arachanes ou Patos, do grupo Guarani, e tribos Charrua, do grupo Pampeano (MOURE, 1994).

Em 1737 a Coroa Portuguesa constrói o Forte Jesus-Maria-José na foz da Laguna dos Patos na tentativa de consolidar e proteger a ocupação na região; Além dos portugueses, índios catequizados e famílias vindas do Rio de Janeiro deram início à Vila do Rio Grande, primeiro município e capital do atual estado do Rio Grande do Sul, porém sua expansão urbana era condicionada e limitada pelo avanço das dunas (RAMOS, 2018).

A partir de 1758 estancieiros iniciam a ocupação da área entre os arroios Pelotas e Santa Bárbara e o Canal de São Gonçalo (SOARES, 2002). Em 1763 ocorre a invasão de Rio Grande pelos espanhóis, forçando a transferência da capital da província para Viamão e mais tarde para Porto Alegre, e após 13 anos, os portugueses retomam a vila (MARTINS, 2006).

Com o desenvolvimento da economia das charqueadas desde o final do século XVIII (SOARES, 2002) e o conseqüente crescimento populacional, em 1815 a Vila de Pelotas é emancipada de Rio Grande. Nesse período, entre os séculos XVIII e XIX, a localidade onde hoje está o município de São José do Norte dispunha do mesmo potencial portuário que Rio Grande, sendo construída a Alfândega em 1828 e a Vila de São José do Norte se emancipando em 1831 (GARCIA, 2011). Em 1835 as vilas do Rio Grande e de Pelotas são elevadas a cidade (TAVARES, 2011). Ao longo do

século XIX, Rio Grande, por sua localização estratégica na margem sul da foz da Laguna dos Patos, com acesso mais fácil à Pelotas, aumenta sua importância para atividades portuárias, causando a retração dessas atividades e do desenvolvimento de São José do Norte (GARCIA, 2011). Ao mesmo tempo, Pelotas vive o auge das charqueadas, com prosperidade econômica e modernização da cidade, período em que é construído boa parte do seu atual patrimônio arquitetônico (TAVARES, 2011).

Ao mesmo tempo, com a vinda dos primeiros imigrantes alemães para o estado, no final da década de 1870 são criadas duas colônias na chamada Serra dos Tapes, região no município vizinho de São Lourenço do Sul: Arroio do Padre I e Arroio do Padre II; e em 1890 a Colônia de Arroio do Padre é incorporada por Pelotas (BEIERSDORF; WIEDUSCHADT, 2013).

No início do século XX, a urbanização de Rio Grande ganha impulso com a construção do porto em 1910 e em seguida, em 1915, são construídos os Molhes da Barra para evitar o fechamento do canal por sedimentos (MARTINS, 2006). As rochas utilizadas na construção vieram de pedreiras de Pelotas, principalmente de duas localidades: Monte Bonito e Capão do Leão (TORRES, 2014). A construção dos molhes favorece a atividade portuária de Rio Grande e reduz a importância de São José do Norte no setor, tendo sua Alfândega fechada, comprometendo as finanças do município que tem sua economia cada vez mais retraída (GAUTÉRIO, 1997), dependente do setor primário e de fatores econômicos externos e climáticos (RAMOS, 2018).

Entre as décadas de 1930 e 1960, Rio Grande viveu sua primeira fase de industrialização (MARTINS, 2006). Houve investimentos estatais, a partir dos anos 1970, para construção do Superporto e do Distrito Industrial (SILVA *et al.*, 2012), e dos anos 2000, para instalação do Polo Naval. Ao mesmo tempo as localidades de Capão do Leão e Arroio do Padre cresceram com a agricultura, culminando nas suas emancipações de Pelotas em 1982 e 1996, respectivamente (RAMOS, 2018; SILVA *et al.*, 2012).

No final da década de 1960 foi criada a primeira divisão de microrregiões do país. Os municípios da região estavam em microrregiões diferentes, sendo Pelotas compondo a Microrregião 317, enquanto Rio Grande e São José do Norte, a Microrregião 318 (GALVÃO; FAISSOL, 1969). Mas na década de 1970 o IBGE já considerava Pelotas como um centro regional, subordinado à influência de Porto Alegre (IBGE, 1972), que formava juntamente com Rio Grande uma aglomeração

urbana que não apresentava espaço urbano contínuo, mas que mantinham funções complementares (DAVIDOVICH; LIMA, 1975). Nessa década foi institucionalizada a primeira aglomeração urbana metropolitana do estado, a Região Metropolitana de Porto Alegre (BRASIL, 1973).

Pelotas detinha grande centralidade no sul do estado, sendo importante polo comercial e de serviços; já Rio Grande abrigava o principal porto do Rio Grande do Sul (SOARES, 2013). Desse modo, Pelotas subordinava diretamente os municípios de Camaquã, Canguçu, Jaguarão, Pedro Osório e Pinheiro Machado, enquanto Rio Grande, os municípios de Santa Vitória do Palmar e São José do Norte (IBGE, 1987). Nos anos seguintes, Pelotas expande sua rede de influência, mantendo interações espaciais importantes com os municípios de Santa do Livramento e Bagé e subordinando Rio Grande (IBGE, 2000), com a rede urbana da região cada vez mais verticalizada e Pelotas sendo a principal fornecedora de bens e serviços da região (IPEA; IBGE; UNICAMP, 2001a).

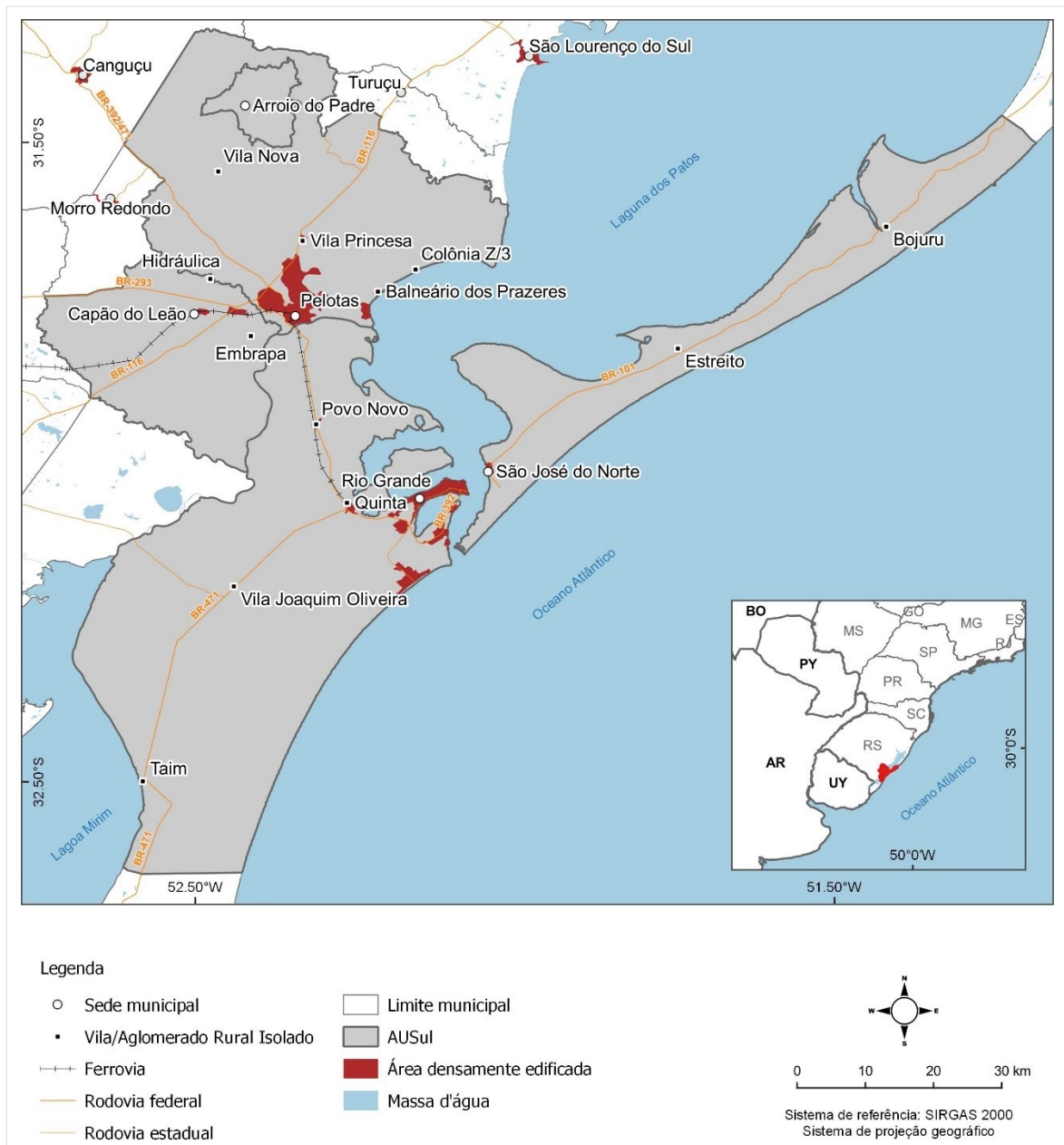
Em 1990 é criada a Aglomeração Urbana de Pelotas (RIO GRANDE DO SUL, 1990), composta pelos municípios de Pelotas e Capão do Leão, e em 2002 ela é transformada na Aglomeração Urbana do Sul, acrescida dos municípios de Arroio do Padre, Rio Grande e São José do Norte (RIO GRANDE DO SUL, 2002) (Figura 3). No início do século XXI a dinâmica da região pouco muda. Pelotas-Rio Grande polarizam a rede urbana regional, subordinando diretamente os municípios de Bagé, Santa Vitória do Palmar e Pinheiro Machado (IBGE, 2008), expandindo sua influência até Santana do Livramento (IBGE, 2013).

Em 2013 foram criados dois projetos de lei visando a criação da Região Metropolitana do Sul. Um partia da configuração da atual AUSul acrescentando os municípios vizinhos de Canguçu, Cerrito, Morro Redondo, Pedro Osório, São Lourenço do Sul e Turuçu. O segundo abrangia os 21 municípios da Zona Sul do estado. Com o Estatuto das Metrôpoles (BRASIL, 2015), que estabelece critérios para a criação de aglomerações urbanas e regiões metropolitanas, um dos projetos foi alterado para abranger apenas os cinco municípios da AUSul. Entretanto, em 2018 os projetos foram arquivados.

Assim, administrativamente a AUSul abrange os cinco municípios que estão subdivididos em 22 distritos, o que reflete a formação socioespacial da região, na qual Pelotas apresenta a maior quantidade de núcleos de povoamento e Arroio do Padre a menor, da seguinte forma:

- Arroio do Padre: Sede.
- Capão do Leão: Sede, Hidráulica, Passo das Pedras e Pavão;
- Pelotas: Sede, Colônia Z3, Cerrito Alegre, Triunfo, Cascata, Santa Silvana, Quilombo, Rincão da Cruz e Monte Bonito;
- Rio Grande: Sede, Ilha dos Marinheiros, Povo Novo, Quinta e Taim;
- São José do Norte: Sede, Estreito e Bojuru.

Figura 3 - Localização dos núcleos urbanos na AUSul e seu entorno



Fonte: elaborado pelo autor

4.1.2 Contexto socioeconômico atual da AUSul

Atualmente Rio Grande tem um dos maiores portos brasileiros e do Mercosul, além de importante polo industrial petroquímico, de fertilizantes e de alimentos (MARTINS, 2006; SILVA *et al.*, 2012). Pelotas se destaca pela produção de arroz e leite e no setor de comércio e serviços, principalmente na educação, sendo polo importante de ensino superior. São José do Norte se destaca pela produção de arroz, cebola, pinus e eucalipto, além da indústria naval.

A AUSul apresentava um total de 609.269 habitantes (IBGE, 2019a), sendo Pelotas a mais populosa e povoada, responsável por mais da metade da população da região, seguida por Rio Grande (Tabela 1 e Tabela 2). Arroio do Padre se destaca por ser a menos populosa e urbanizada, com pouco mais de 1/8 da população vivendo na área urbana. Os demais municípios têm a maioria dos habitantes vivendo na cidade, sendo que Rio Grande e Pelotas, respectivamente, têm taxa de urbanização superior à da AUSul.

Tabela 1 - Distribuição da população urbana e rural na AUSul e seus municípios

Município	População (hab.)				Participação na AUSul (%)	Taxa de urbanização (%)
	Urbana	Rural	Total	Estimada (2019)		
Arroio do Padre	454	2.276	2.730	2.937	0,48	16,63
Capão do Leão	22.382	1.916	24.298	25.354	4,16	92,11
Pelotas	306.193	22.082	328.275	342.405	56,20	93,27
Rio Grande	189.429	7.799	197.228	211.005	34,63	96,05
São José do Norte	17.383	8.120	25.503	27.568	4,52	68,16
AUSul	535.841	42.193	578.034	609.269		92,70
Participação no RS (%)	5,89	2,65	5,41	5,36		

Fonte: IBGE (2010, 2019)

A região corresponde a 5,36% da população do estado, segundo estimativa do IBGE para 2019, um decréscimo nessa participação em relação ao Censo de 2010, que era de 5,41%. Ainda corresponde a 5,89% dos que vivem em áreas urbanas e 2,65% dos que vivem nas áreas rurais (IBGE, 2010). Além disso, representa 2,66% do território gaúcho (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 2 - Área territorial e densidade demográfica

	Área (km ²)	Densidade demográfica (hab/km ²)
Arroio do Padre	124,69	23,55
Capão do Leão	785,37	32,28
Pelotas	1.609,71	212,71
Rio Grande	2.708,37	77,91
São José do Norte	1.119,01	24,64
AUSul	7.489,24	81,35
Participação no RS (%)	2,66	
RS		40,39

Fonte: IBGE (2010, 2019)

Quanto à infraestrutura de saneamento, segundo dados disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), mais de 95% da população da região tem acesso a abastecimento de água, porém, São José do Norte e Arroio do Padre abrangem apenas metade e 1/5 dos habitantes, respectivamente (Tabela 3). A coleta e tratamento do esgotamento sanitário em Pelotas e Rio Grande abrangem cerca de 60% e 30% da população, respectivamente, tendo a AUSul 43,59% da população atendida e apenas 23,45% do esgoto tratado. Quanto à coleta de resíduos domésticos, em Pelotas e Rio Grande o atendimento abrange mais de 90% dos habitantes e Arroio do Padre pouco mais da metade. Esses três municípios destinam seus resíduos para o aterro sanitário Metade Sul, no município de Candiota, distante cerca de 165 km, 206 km e 185 km, respectivamente, o que eleva os custos do serviço de saneamento. O serviço de coleta seletiva de resíduos sólidos é oferecido apenas por Pelotas e Rio Grande.

Tabela 3 - População atendida por serviços de saneamento, em percentuais

	Abastecimento de água		Esgotamento sanitário			Coleta de resíduos domésticos	
	Total (%)	Zona urbana (%)	Total (%)	Zona urbana (%)	Tratamento (%)	Total (%)	Zona urbana (%)
Arroio do Padre	19,55	16,64	-	-	-	54,78	16,64
Capão do Leão	92,11	92,11	-	-	-	-	-
Pelotas	99,42	93,27	59,44	58,86	23,78	93,41	93,27
Rio Grande	96,05	96,05	29,34	29,34	29,34	99,21	96,05
São José do Norte	51,15	51,15	-	-	-	-	-
AUSul	95,39	91,91	43,59	43,26	23,45	87,12	85,77

Fonte: SNIS (2018)

Na economia, o Produto Interno Bruto (PIB) da região corresponde a 5,42% do PIB estadual, sendo Rio Grande responsável por mais de 60%, seguido de Pelotas com pouco mais de 30% (Tabela 4). Mesmo com participação consideravelmente menor no PIB, Pelotas exerce maior centralidade na região sul do estado pela proximidade com outros municípios, enquanto Rio Grande alcança esse volume devido a atividade portuária. O setor de serviços é o mais representativo, com cerca da metade do PIB da AUSul, seguido da indústria e da administração pública, com cerca de 20% cada. Arroio do Padre tem sua economia baseada no setor primário, Capão do Leão, Pelotas e Rio Grande no de serviços, e São José do Norte na administração pública, seguido dos serviços.

Tabela 4 - PIB de 2017 da AUSul e seus municípios, em percentuais

	Agropec.	Indústria	Serviços	Adm. pública	Participação na AUSul	Participação no RS
Arroio do Padre	42,69	6,59	20,14	30,57	0,28	0,02
Capão do Leão	16,32	27,33	32,08	24,28	2,97	0,16
Pelotas	3,11	10,98	67,02	18,90	33,82	1,83
Rio Grande	12,75	27,71	41,11	18,43	61,21	3,32
São José do Norte	22,55	11,78	29,58	36,09	1,73	0,09
Participação na AUSul	9,85	21,71	49,35	19,10		5,42

Fonte: IBGE (2017)

Quanto aos usos e à cobertura da terra, conforme a Tabela 5 e a Figura 4, as classes Agricultura e Formação Campestre apresentam as maiores áreas, com cerca de 25% da região cada. Na sequência, aparecem as classes Área Úmida Natural não Florestal e Floresta Natural. A Agricultura é a principal classe nos municípios de Capão do Leão e Pelotas, a segunda em Arroio do Padre e São José do Norte e a terceira em Rio Grande. Já a Formação Campestre predomina em Rio Grande e São José do Norte e ocupa a segunda maior área em Capão do Leão. Destaca-se também a Floresta Natural que predomina em Arroio do Padre e tem a segunda área em Pelotas. Esse último município apresenta a maior área da classe Infraestrutura Urbana, seguido de Rio Grande.

As classes que representam a cobertura (1, 3, 4, 6 e 9) somam 57,1% da área da AUSul, enquanto as classes de uso da terra (2, 5, 7 e 8) somam 42,9%.

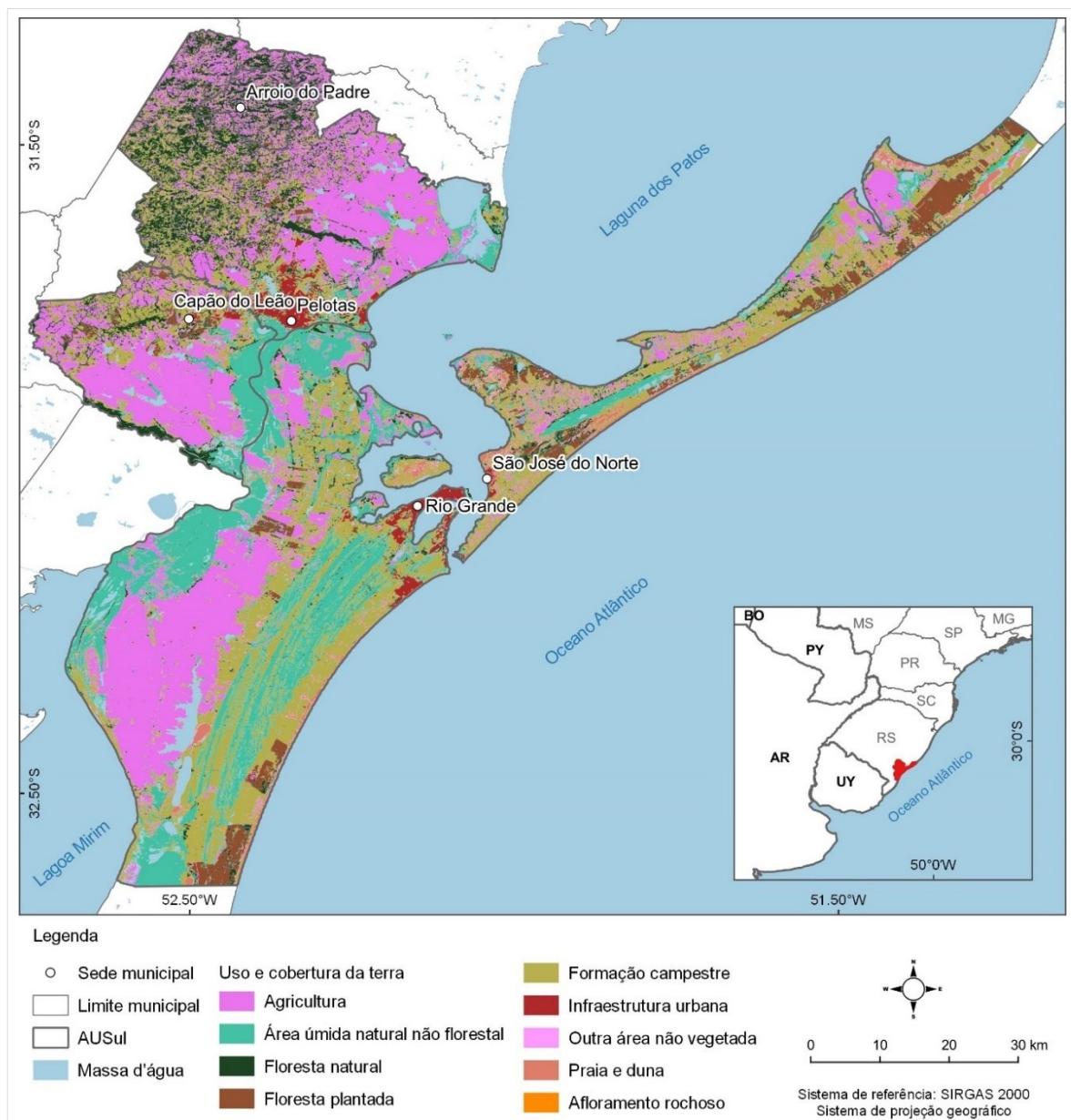
Tabela 5 - Classes e percentuais de áreas de uso e cobertura da terra

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Arroio do Padre	46,0	3,5	0	12,9	37,9	0	0	0,1	0
Capão do Leão	11,5	2,7	11,6	22,7	46,2	0	0,7	0,2	4,6
Pelotas	23,4	1,8	4,1	21,8	39,6	0	3,6	0,2	5,9
Rio Grande	2,5	2,4	29,1	30,5	27,2	1,7	1,6	0,3	5,0
São José do Norte	7,2	11,5	8,5	41,1	15,8	7,5	0,4	1,3	7,7
AUSul	9,7	3,3	14,3	26,6	27,5	1,8	1,5	0,1	4,7

Fonte: MapBiomas (2020)

Nota: legenda das classes de uso e cobertura da terra: (1) Floresta Natural; (2) Floresta Plantada; (3) Área Úmida Natural não Florestal; (4) Formação Campestre; (5) Agricultura; (6) Praia e Duna; (7) Infraestrutura Urbana; (8) Outra Área não Vegetada; (9) Rio, Lago e Oceano.

Figura 4 - Mapa de uso e cobertura da terra da AUSul



Fonte: MapBiomas (2020), adaptado pelo autor

4.1.3 Caracterização do meio físico e o quadro ambiental da AUSul

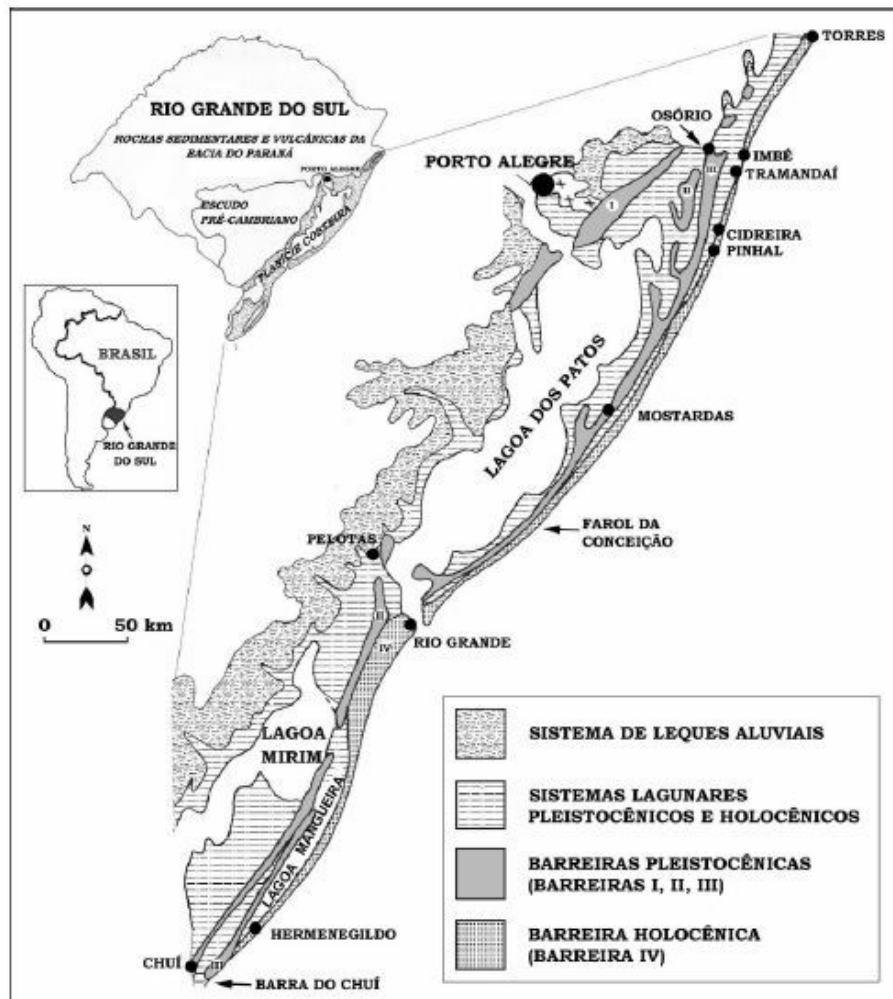
A área da AUSul se localiza aproximadamente entre os paralelos 31°25' e 32°37' de latitude sul e os meridianos 51°15' e 52°45' e de longitude oeste.

Geologicamente está sobre o Escudo Sul-Riograndense e, na sua maior parte, nos Sistemas Lagunas-Barreiras da Bacia de Pelotas, formada por sedimentos depositados a partir da influência de oscilações do nível do mar e variações climáticas, tendo como área fonte, na porção centro-sul da bacia, o próprio escudo cristalino.

A origem da bacia tem relação com o rifteamento de abertura do oceano Atlântico Sul a partir do Cretáceo inferior, fragmentando o continente Gondwana, iniciando a formação das bacias sedimentares marginais brasileiras. Seu embasamento é constituído por complexo cristalino pré-cambriano e sequências sedimentares e vulcânicas do Paleozoico e Mesozoico da Bacia do Paraná (BARBOZA; ROSA; AYUP-ZOUAIN, 2008; TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). Do ponto de vista econômico, a extração mineral tem nas rochas do escudo cristalino uma importante fonte de pedras e britas para a construção civil e pavimentação do sistema viário.

Um sistema de leques aluviais e quatro deposicionais do tipo laguna/barreira, formados provavelmente nos máximos transgressivos alcançados desde o Pleistoceno, são responsáveis pela progradação da Planície Costeira (Figura 5). O desenvolvimento das barreiras contribuíram para a formação do Sistema Lagunar Patos-Mirim (BARBOZA; ROSA; AYUP-ZOUAIN, 2008; TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

Figura 5 - Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul



Fonte: Tomazelli e Villwock (2000)

O sistema de leques aluviais é o mais antigo, na porção mais interna da Bacia de Pelotas, tendo como área fonte as rochas ígneas e metamórficas do Escudo Sul-Rio-Grandense e é composto por elúvios e colúvios remobilizados. Seguido do Sistema Laguna/Barreira Pleistocênico 2, formado aproximadamente há 325 mil anos por depósitos eólicos, praias, praias eólicos e de planície lagunar; o Sistema Laguna/Barreira Pleistocênico 3, de aproximadamente 120 mil anos, além dos mesmos processos da barreira 2, apresenta depósitos de praia e cristas lagunares; e o Sistema Laguna/Barreira Holocênico formado por depósitos colúvio-aluviais, aluviais, deltaicos, eólicos, flúvio-lagunares, praias, de praias e cristas lagunares, de planície lagunar, de retrabalhamento eólico e turfeiras (CPRM, 2006; IBGE, 2019b; TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

Os fácies sedimentares da Sistema Laguna/Barreira Pleistocênico 2 correspondem a areias quartzo-feldspáticas, castanho-amareladas, bem

arredondadas, envoltas por matriz siltico-argilosa. Já no Sistema Laguna/Barreira Pleistocênico 3, correspondem a depósitos eólicos compostos por areias quartzosas claras e finas e estratificação plano-paralela, cruzada planas e acanalada. No Sistema Laguna/Barreira Holocênico as areias praias são quartzosas, de granulação fina a muito fina e em alguns locais apresentam concentrações elevadas de metais pesados. Seu campo de dunas tem largura entre 2 e 8 km, estendendo-se ao longo de quase toda a linha de costa e avança no sentido SO transgredindo terrenos mais antigos e entrando em corpos lagunares adjacentes (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). A extração de areias dos terrenos lagunares e flúvio-lagunares – incluindo-se o leito de rios e lagunas – são importante fonte de material para a construção civil na região.

Adjacentes ao Escudo Sul-Riograndense, na porção centro-norte de Pelotas, norte de Capão do Leão e em Arroio do Padre predominam Argissolos Amarelos, Vermelho-Amarelos e Vermelhos, Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos. Nessas áreas de relevos ondulados os solos são bem drenados e, no sentido NO-SE, passam de muito rasos a profundos e muito profundos e de quimicamente pobres a altamente férteis, aumentando também a acidez (CUNHA; SILVEIRA, 1996b, 1996a). Conforme observado em imagens satelitais, onde o relevo é fortemente ondulado há mais ocorrências de afloramentos e pavimentos rochosos naturais, tipo de terreno não classificado como solo.

Nas áreas de vale predominam solos pouco desenvolvidos, originados de depósitos aluviais holocênicos (Gleissolos Húmicos, Neossolos Flúvicos) e também alguns Planossolos. À medida que diminui a elevação, observa-se Gleissolos Melânicos e Planossolos Háplicos e Nátricos. Nas planícies de inundação da Lagoa Mirim, Canal São Gonçalo e Laguna dos Patos e formadas pelos depósitos sedimentares de barreira a pior drenagem possibilita o desenvolvimento também de Organossolos Háplicos, Neossolos Flúvicos e Quartzarênicos, e Gleissolos Tiomórficos (CUNHA, 1994; CUNHA; SILVEIRA, 1996a, 1996b; CUNHA; SILVEIRA; SEVERO, 1996). A diversidade pedológica da região possibilita o uso de campos nativos e pastagens para criação animal, a instalação de cultivos diversos, incluindo a fruticultura de clima temperado e produção de grãos, em solos bem drenados. Em terrenos mal drenados, tem-se forte desenvolvimento da orizicultura em sistemas de irrigação por alagamento, bem como plantios arbóreos de eucaliptos (*Eucalyptus sp.*) e pinho (*Pinus sp.*). A propósito, a silvicultura é praticada mesmo em terrenos arenosos de dunas e superfícies interdunas, com extensos monocultivos

principalmente no município de São José do Norte o que torna-se um fator de preocupação principal, devido ao seu avanço sobre ecossistemas frágeis.

Em um estudo antigo sobre o clima do RS, seguindo a classificação de Köppen-Geiger, pode-se verificar que a AUSul apresenta clima Cfa, temperado chuvoso e moderadamente quente e, por se localizar em zona de latitude média, o clima é controlado por sistemas tropicais e polares (MORENO, 1961). Numa nova proposta de classificação climática do RS, Rossato (2011) afirma que a região está sob clima do tipo Subtropical Ia, pouco úmido com inverno frio e verão fresco, sofrendo maior influência da maritimidade, dos sistemas polares, dos sistemas frontais, que são os responsáveis pela maior parte das precipitações, e da corrente fria das Malvinas, que inibe a formação de nuvens. A mesma autora (ibidem), aponta ainda participação menor dos sistemas tropicais conjugados com a influência do relevo, ou seja, o Escudo Sul-Riograndense e a Planície Costeira, havendo muita variação na umidade relativa, devido à proximidade do oceano Atlântico, ficando entre 70% e 80% na maior parte do ano. Entretanto no verão, em áreas mais afastadas do litoral, os valores diminuem para entre 65% e 70% (idem, ibidem).

Segundo Rossato (2011), a precipitação é entre 1.200 e 1.500 mm anuais, distribuídos em 80 a 100 dias de chuva, sendo a distribuição mensal por volta de 6 a 9 dias. São os menores valores de chuva do estado do Rio Grande do Sul. Nos meses mais secos (no verão) as chuvas mensais variam entre 75 e 115 mm e nos mais chuvosos (no inverno), variam entre 115 e 155 mm, o que demonstra uma regularidade na distribuição das médias mensais de precipitações. Isto fica mais claro ao se observar médias de dados em séries históricas, e.g. para Pelotas, onde o número de dias chuvosos mínimo é 8,9 em abril e o máximo de 11,7 em janeiro (WEATHER ATLAS, 2020). De um modo geral, a distribuição das precipitações garante água para manter perene a rede de drenagem e é suficiente para a produção agropecuária e silvicultura, bem como para o abastecimento urbano em toda a AUSul.

Com maior influência da maritimidade, a temperatura média anual varia entre 17°C e 20°C, com a temperatura média do mês mais frio oscilando entre 11°C e 14°C e a mínima média entre 5°C e 11°C. A média do mês mais quente varia entre 20°C e 26°C e a máxima média entre 26°C e 29°C (ROSSATO, 2011). As temperaturas também mostram-se como um fator favorável ao tipo de produção que caracteriza regionalmente a agropecuária (diversificada tanto em produtos vegetais quanto de animais) e à ocupação humana, sem médias extremas, seja de calor ou frio.

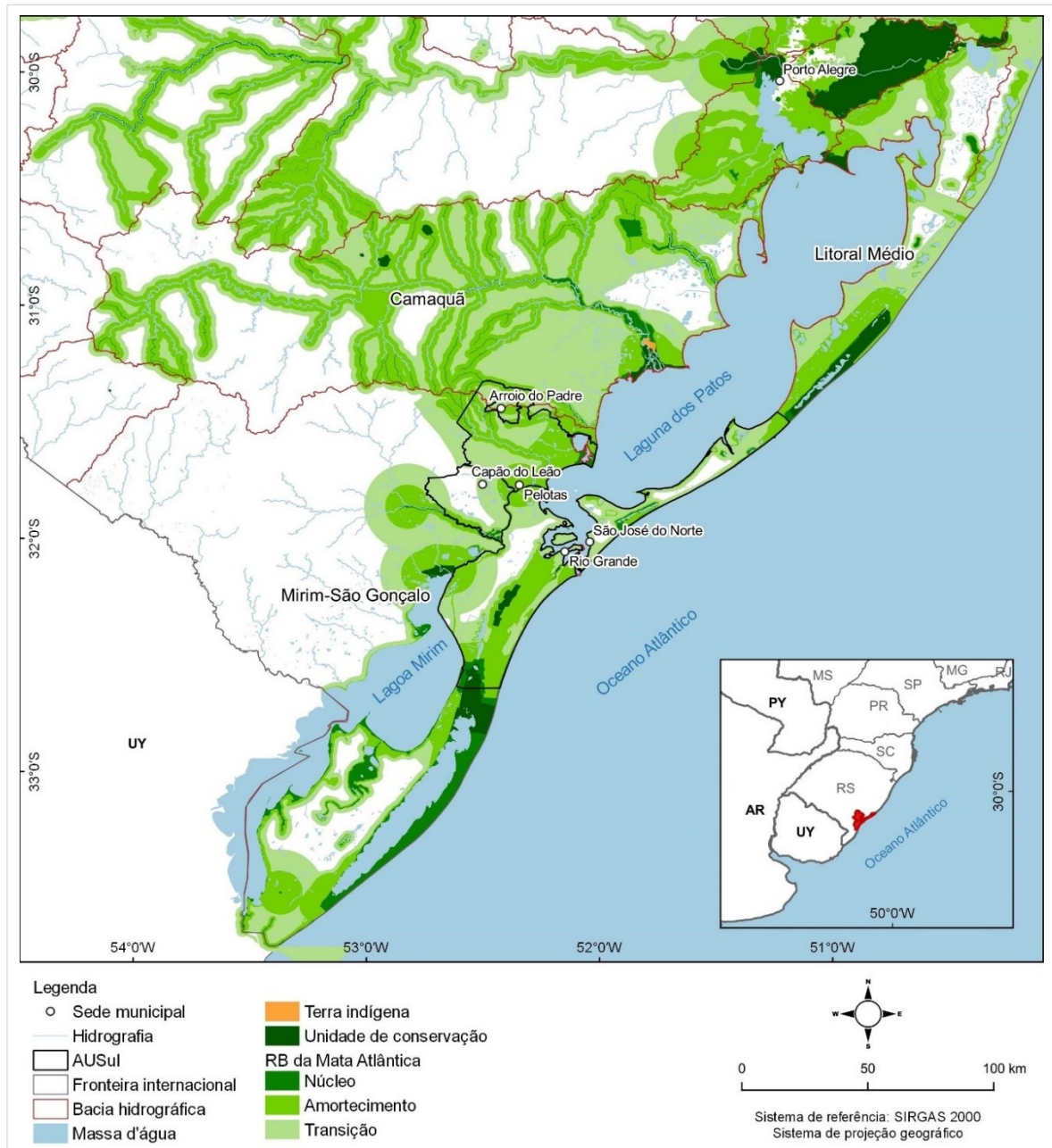
Os ventos constantes, predominantes do quadrante Nordeste, são favoráveis à dispersão de poluentes industriais e não encontram barreiras orográficas importantes. Mesmo assim, há registros relacionados à poluição industrial no município de Rio Grande seja pela percepção das pessoas (SILVA; OLIVEIRA, 2011) ou pela detecção de partículas na atmosfera (GUTIERREZ *et al.*, 2020).

A AUSul está inserida na Bacia Hidrográfica Piratini-São Gonçalo, que é uma das bacias da Região Hidrográfica Litorânea (Figura 6). Entretanto, por se localizar na foz da Laguna dos Patos, que recebe as águas das bacias do Camaquã, Litoral Médio e da Região Hidrográfica do Guaíba, a AUSul por vezes sofre consequências das inundações das áreas urbanizadas.

Quanto à vegetação, o predomínio é de formações pioneiras, em cujos campos nativos deu-se a criação de gado no período da ocupação do território e onde atualmente se desenvolve grande parte da pecuária, seja em pastagens nativas como em pastagens melhoradas sobre as áreas de vegetação pioneira. Nas áreas de maior altitude a noroeste, adjacentes ao Planalto Sul-Riograndense, tem-se a floresta estacional semi-decidual (UFRGS, 2009), cuja composição florística é pouco conhecida (JURINITZ; JARENKOW, 2003) e que abriga grande número de espécies endêmicas em formações abertas (GUADAGNIN *et al.*, 2000).

Com relação a áreas protegidas, observa-se na Figura 6 que apenas o município de Rio Grande tem unidades de conservação (UCs). Tratam-se do Refúgio da Vida Silvestre Banhado do Maçarico, no centro-sul do município, e a Estação Ecológica do Taim, mais ao sul, cuja área estende-se também pelo norte de Santa Vitória do Palmar.

Figura 6 - Mapa das BH, UCs e áreas especiais



Fonte: elaborado pelo autor

Apesar de inserir-se no bioma Pampa, a AUSul intercepta a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) (RBMA, 2018) – tanto de áreas núcleo que abrangem UCs, mas principalmente zonas de amortecimento e de transição associadas a cursos de água. No limite oeste da AUSul está a Reserva Biológica do Mato Grande e no limite nordeste o Parque Nacional da Lagoa do Peixe, cuja zona de amortecimento estende-se pelo norte de São José do Norte (Figura 6).

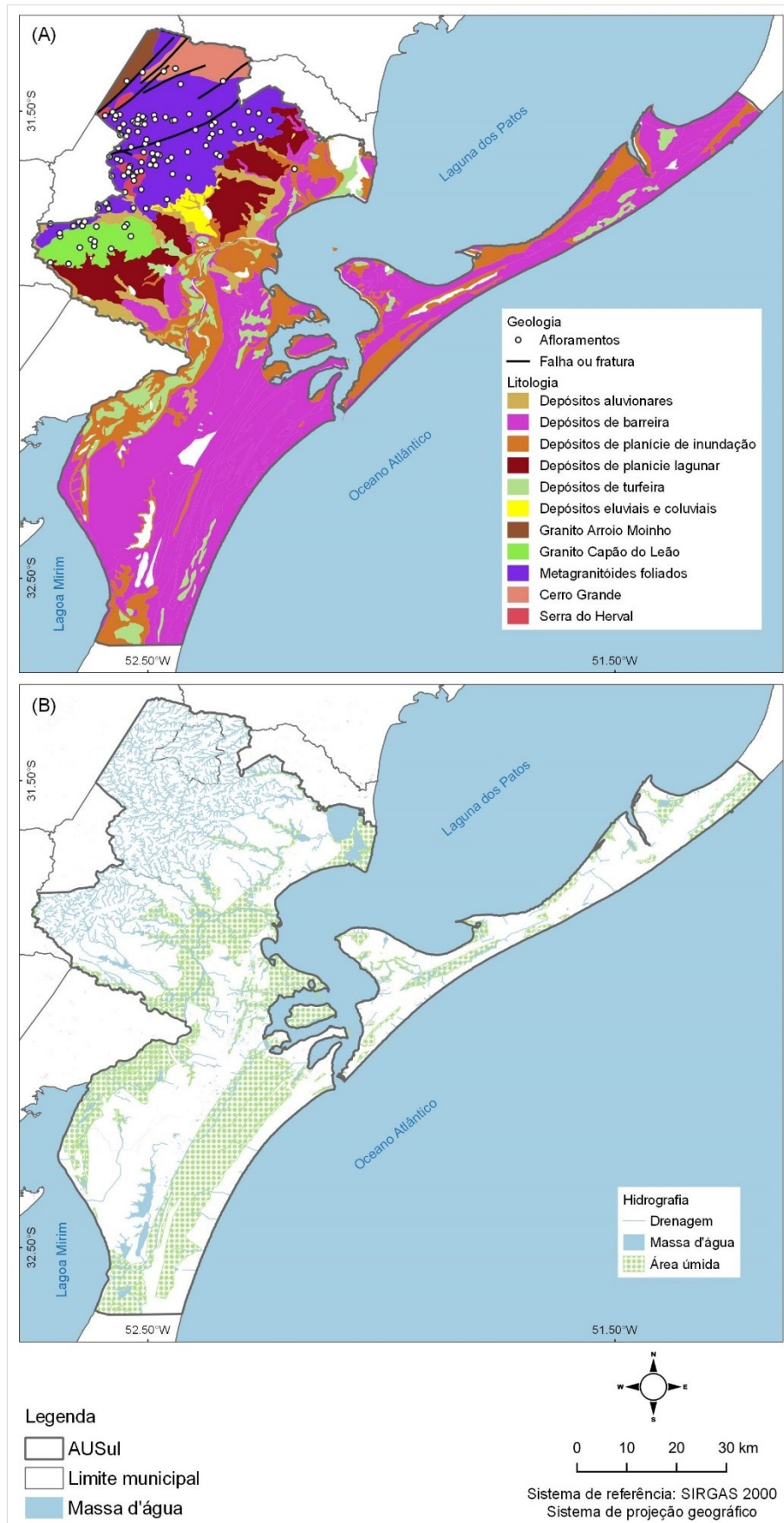
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA GEODIVERSIDADE DA AUSUL EM ESCALA REGIONAL

A Figura 7 apresenta a distribuição dos elementos de geologia (A) e hidrografia (B) (Quadro 7) na AUSul. Observa-se a concentração de estruturas e afloramentos nos municípios de Pelotas, Arroio do Padre e Capão do Leão. Já a hidrografia apresenta concentração de cursos d'água de menor ordem na porção norte, enquanto que as áreas úmidas concentram-se ao longo do canal São Gonçalo e na área de dunas em Rio Grande.

A Figura 8, Figura 9 e Figura 10 (A) apresentam a distribuição dos elementos de relevo e geomorfologia (Quadro 7). Observa-se as maiores altitudes (a partir de 100 metros) e declividades no Planalto Sul-Rio-Grandense. De acordo com as classes de declividade de Embrapa (2006) o relevo dessas partes mais altas caracteriza-se pelas classes montanhoso, forte ondulado, ondulado e suave ondulado, em domínios de morros, serras baixas e colinas dissecadas, com vertentes recobertas por depósitos de encosta. De acordo com o mesmo sistema de classificação (EMBRAPA, 2006), abaixo de 100 metros o relevo varia de suave ondulado a plano, predominando planícies (flúvio-marinhas, flúvio-lacustres e costeiras) e campos de dunas, com terraços lagunares entre as planícies e os morros, serras e colinas.

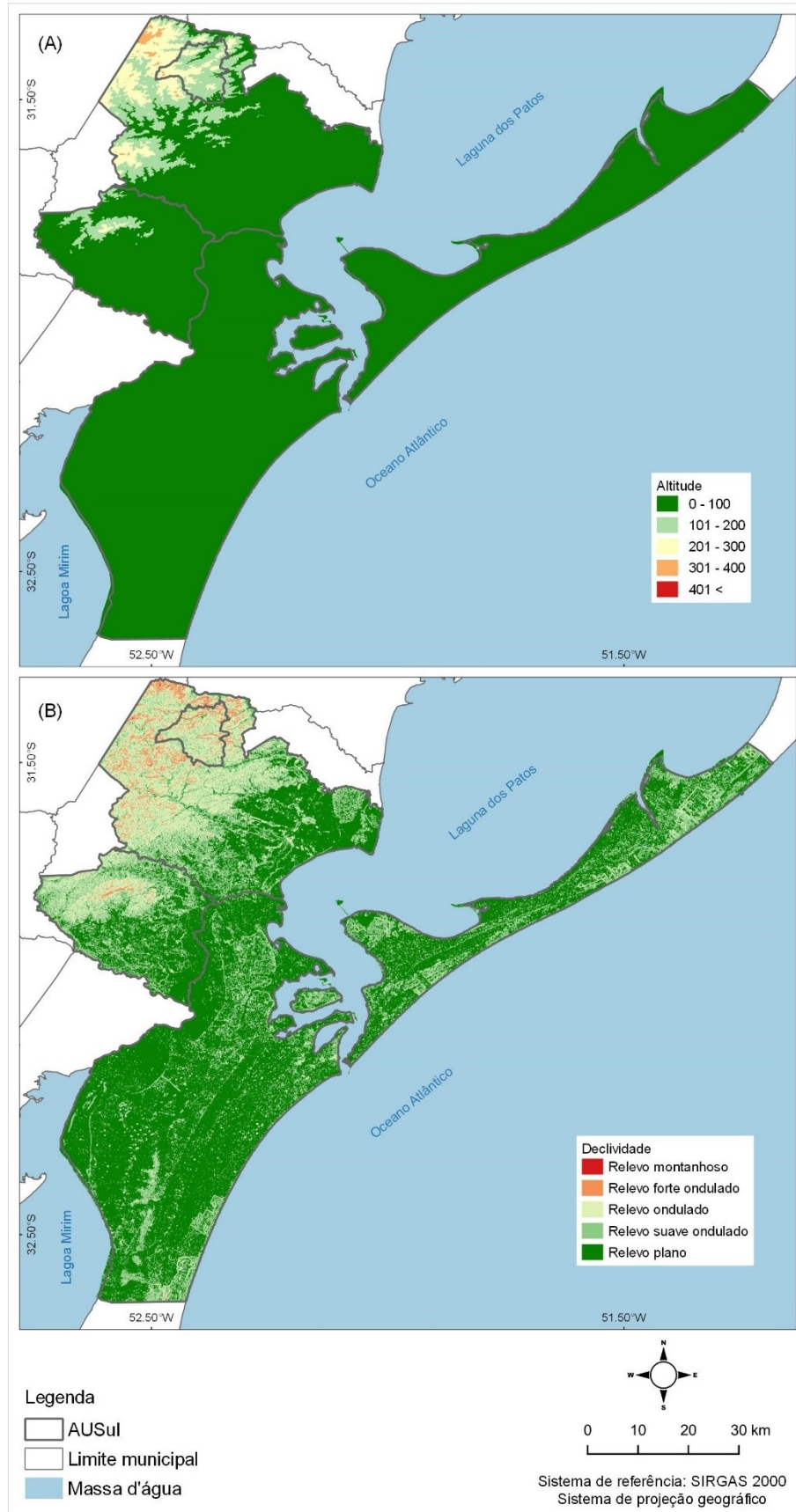
Já quanto aos solos (Figura 10 (B) e Figura 11), há 9 classes, sendo que predominam 4: Argissolos nas áreas de maior declividade, Gleissolos e Neossolos nas áreas planas, com Planossolos na área dos terraços lagunares. Predominam solos são profundos e pouco profundos, com fertilidade média, mas destaca-se a grande área de solos com alta fertilidade em Pelotas.

Figura 7 - Mapas dos dados de geologia e hidrografia utilizados



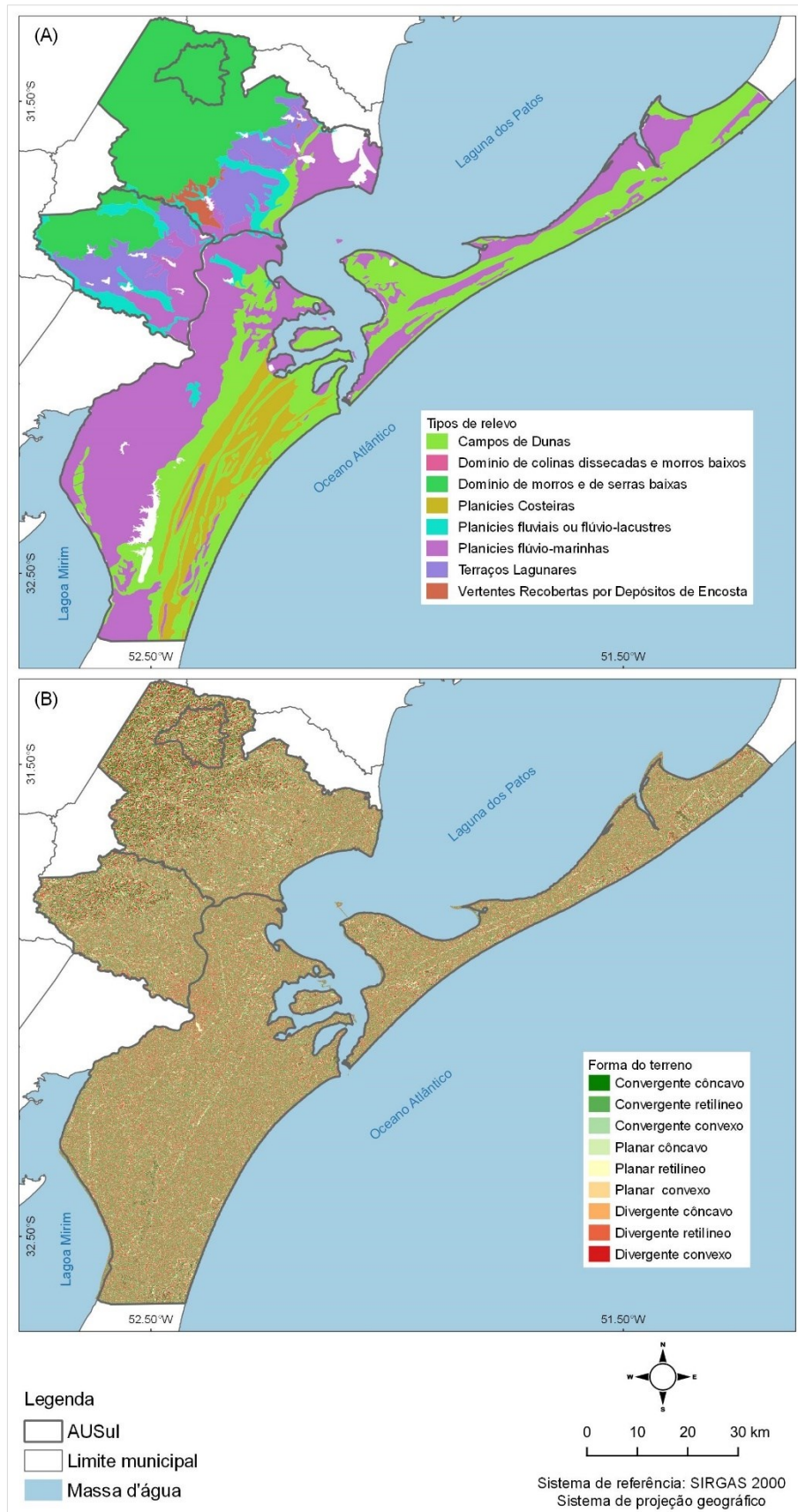
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 8 - Mapas dos dados de relevo (altitude e declividade)



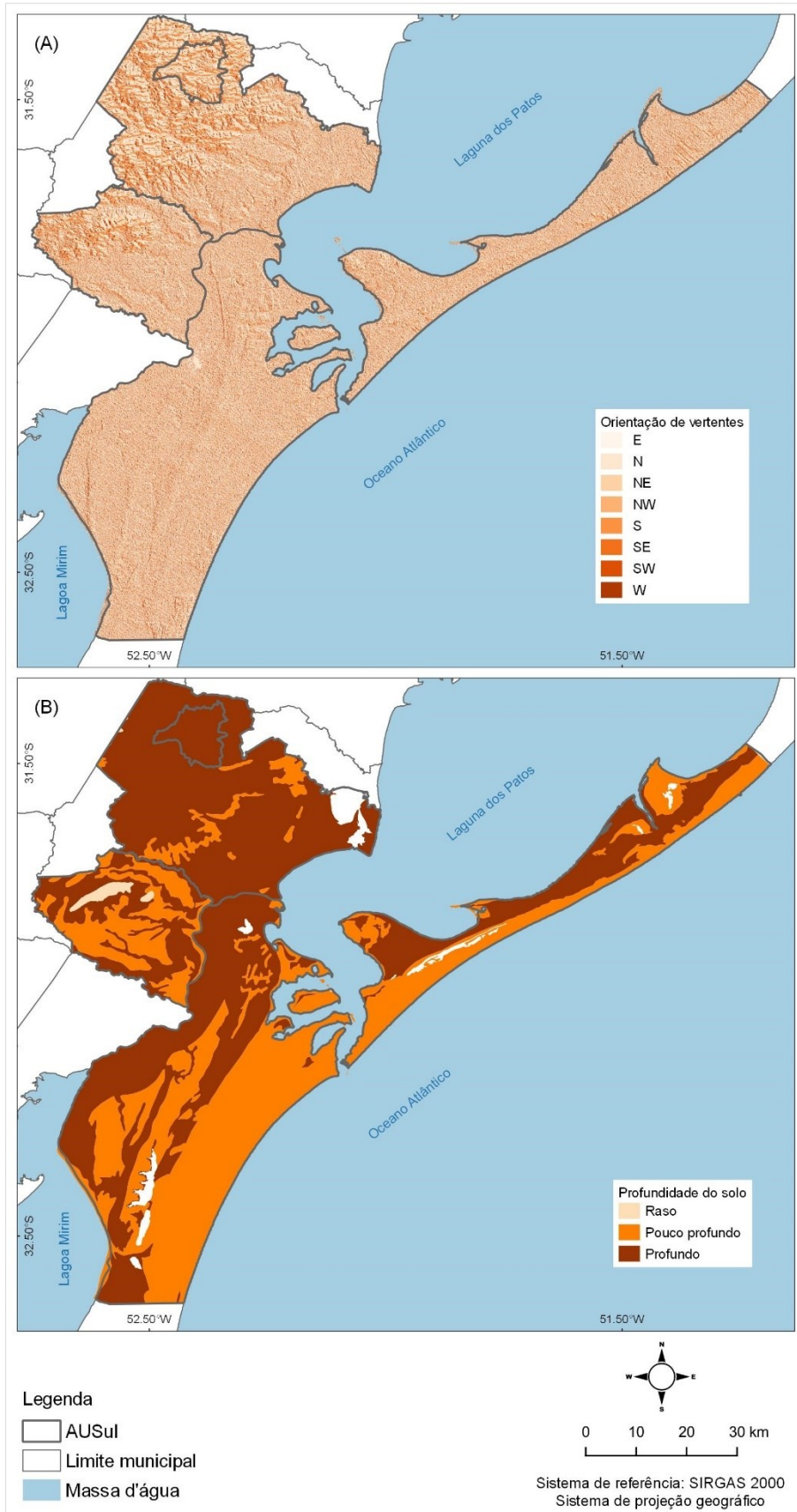
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 9 - Mapas dos dados de geomorfologia (relevo e forma do terreno)



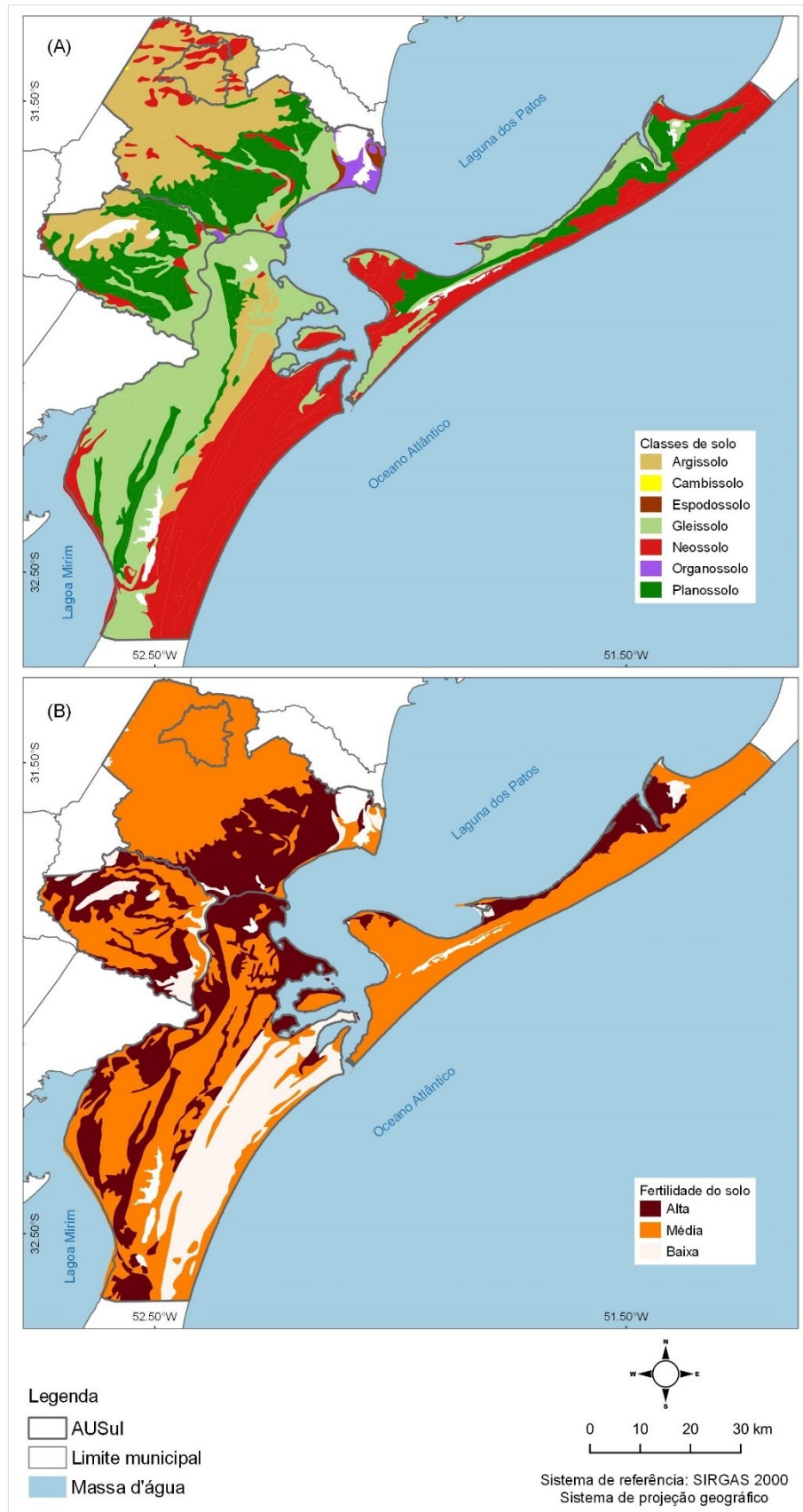
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 10 - Mapas dos dados de geomorfologia (vertentes) e solos (profundidade)



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 11 - Mapas dos dados de solos (classes e fertilidade)



Fonte: elaborado pelo autor

Após a aplicação do algoritmo *spatial join*, em ambiente SIG, se obteve a grade vetorial com a quantificação dos elementos da geodiversidade em cada polígono de 3.000 x 3.000 metros. Os elementos foram então agrupados em quatro planos de informação: geologia, hidrografia, geomorfologia e pedologia, correspondendo ao parâmetro Eg do cálculo do índice de geodiversidade (Gd). Para cada plano de informação foi calculado, utilizando a calculadora *raster*, o subíndice de geodiversidade, conforme a Figura 12.

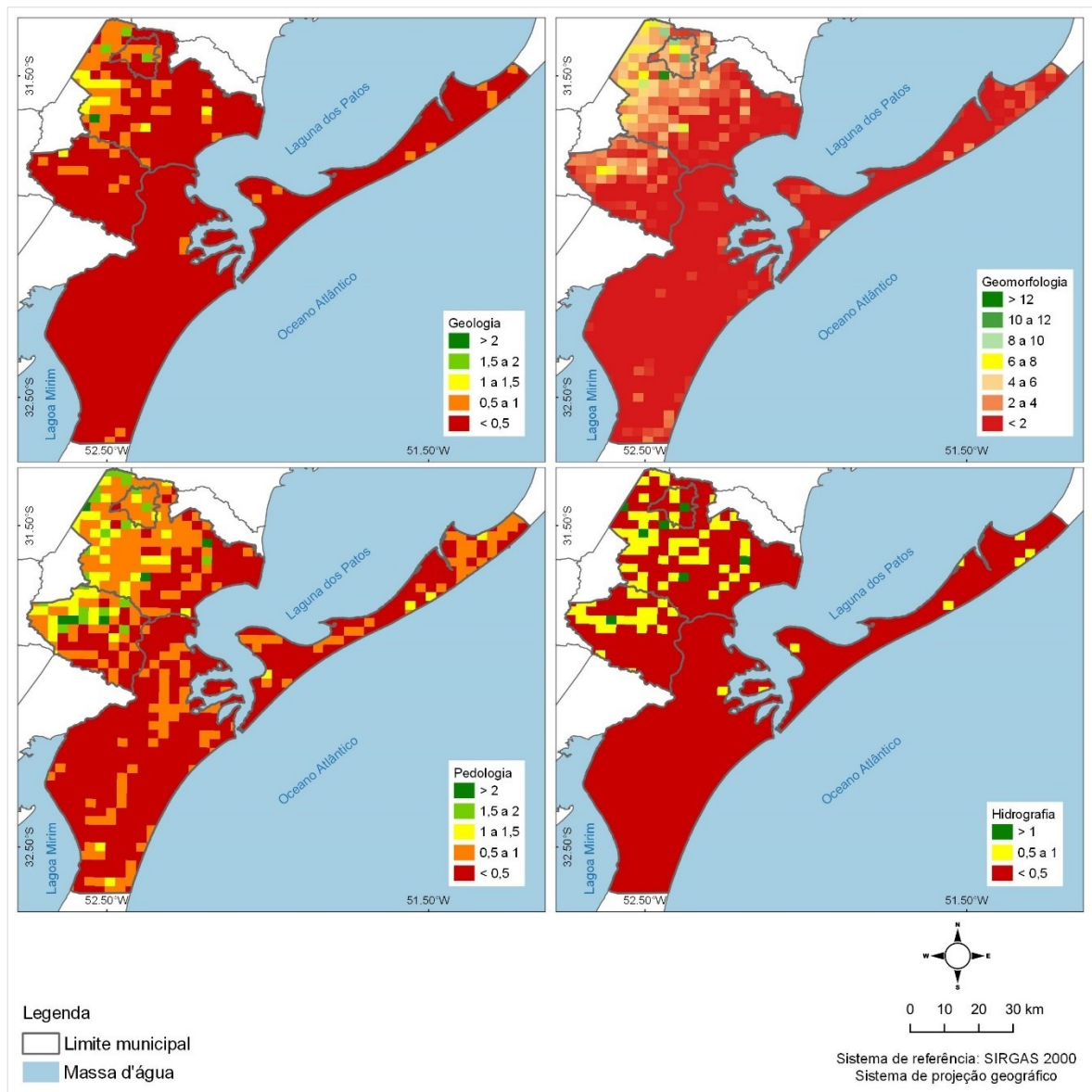
O subíndice de geodiversidade da geologia da AUSul variou de 0 a 2,35, classificado em cinco classes com intervalo de 0,5. Observa-se que a maior parte da região tem geodiversidade menor que 0,5, estando os maiores valores (a partir de 1) em Pelotas, na sua porção oeste, associados a maior concentração de afloramentos rochosos e linhas de falhas. Também a maior variedade de classes de rochas está nessa área.

Quanto ao subíndice de geodiversidade da geomorfologia, foi o que obteve maiores valores, variando de 0,08 a 12,69, sendo classificado em sete classes com intervalo de 2,0. A maior parte da região não ultrapassa o valor de 2,0, aumentando na direção de Pelotas e Arroio do Padre. A maior diversidade (acima de 8,0) está associada a maior variação de formas do terreno, de orientação das vertentes e de altitudes, entre 100 e 413 metros e de classes de declividades (suave ondulado, ondulado, forte ondulado e montanhoso).

O subíndice de geodiversidade da pedologia variou entre 0 e 2,31, sendo classificado em cinco classes com intervalo de 0,5. Os maiores valores, acima de 1,5, se concentram em Capão do Leão e depois em Pelotas, associados a maior variedade de classes e de profundidade dos solos, juntamente com valores altos de rugosidade do terreno, principalmente em Capão do Leão e ao norte de Pelotas.

Já o subíndice de geodiversidade da hidrografia varia entre 0 e 1,46, sendo classificado em três classes com intervalo de 0,5. Apesar das grandes áreas úmidas em Rio Grande e ao longo do canal São Gonçalo, os valores maiores estão associados a maior ramificação da drenagem, quantidade de lagoas, açudes e represas, e do relevo ondulado e montanhoso nos municípios de Capão do Leão, Pelotas e Arroio do Padre.

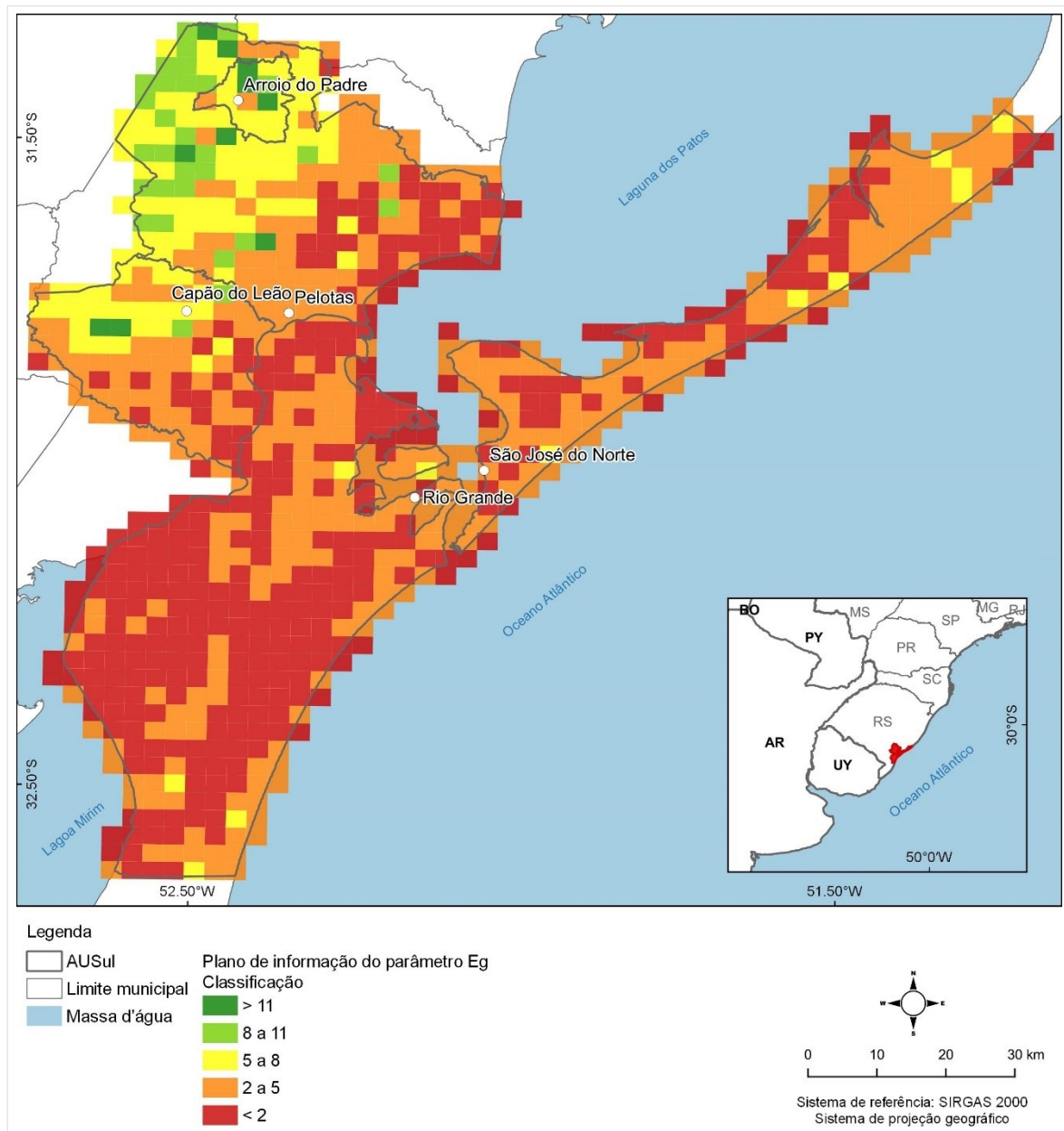
Figura 12 - Mapas de subíndices de geodiversidade



Fonte: elaborado pelo autor

Com a ferramenta calculadora *raster*, os planos de informação com a quantificação dos elementos foram somados, gerando um único plano de informação matricial representando o parâmetro E_g e após, aplicou-se a fórmula do índice de geodiversidade, obtendo-se o dado matricial da distribuição do G_d na AUSul, com resolução espacial de 3.000 metros (Figura 13).

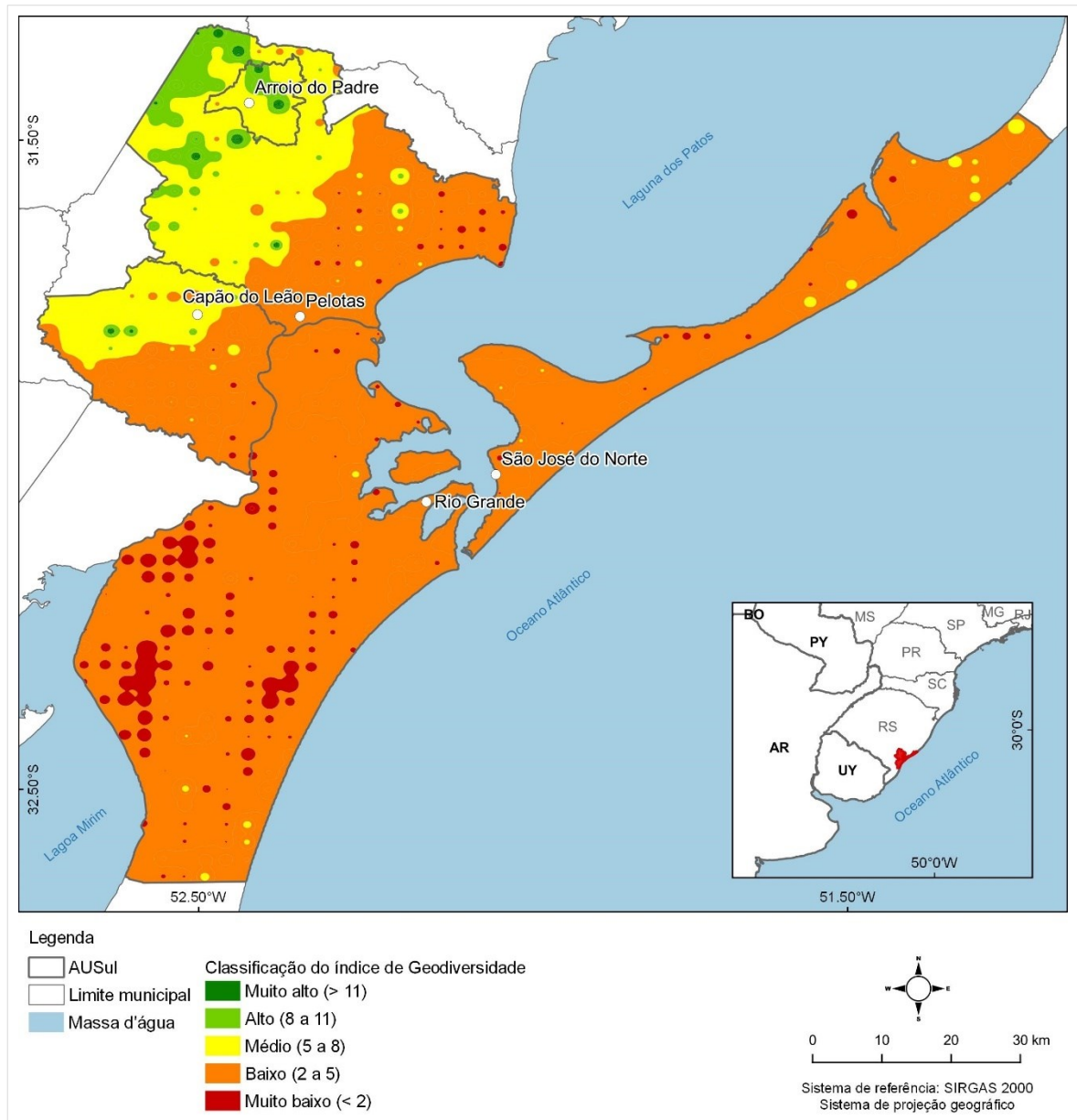
Figura 13 - Plano de informação do parâmetro Eg



Fonte: elaborado pelo autor

Com o método de interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW, sigla em inglês), gerou-se um dado matricial com resolução de 30 metros para melhor representar a distribuição da geodiversidade da área de estudo e compará-la com os dados de uso e cobertura da terra. O Gd variou de 0,16 a 16,59 e foi classificado em cinco classes: Muito Baixo (até 1,9), Baixo (entre 2,0 e 4,9), Médio (entre 5,0 e 7,9), Alto (entre 8 e 10,9) e Muito Alto (a partir de 11,0); resultando no mapa de geodiversidade da AUSul (Figura 14).

Figura 14 - Mapa do índice de geodiversidade da AUSul



Fonte: elaborado pelo autor

Os valores Muito Alto se concentram no norte de Pelotas, em Arroio do Padre e Capão do Leão associados aos valores mais altos de rugosidade, a maior variedade de formas do terreno e orientação de vertentes e de classes de solo, ao relevo forte ondulado e montanhoso. Também na porção central de Pelotas há valores Muito Alto e Alto associados a rugosidade e ao relevo de vertentes recobertas e depósitos de encosta.

Os valores classificados como Alto se estendem pelo norte e noroeste de Pelotas associados ao domínio de morros e de serras baixas, colinas dissecadas e morros baixos, as altitudes acima de 300 metros, as falhas geológicas e afloramentos

rochosos; além da variedade de orientação das vertentes e formas do terreno. Também há valores Alto em Pelotas e Capão do Leão, ao longo dos terraços lagunares.

Os valores Muito Alto, Alto, Médio e Muito Baixo ocupam pouco mais de 24,6% da área da AUSul (Tabela 6). A maior parte da área da região, 75,4%, tem Gd Baixo. A geodiversidade classificada como Muito Baixo concentra a maior área em Rio Grande e está associado a menor variedade geológica, de altitudes, declividades e da hidrografia, menor rugosidade do terreno, solos pouco profundos e pouco férteis.

Tabela 6 - Área das classes de geodiversidade

Classificação da geodiversidade	Área (km ²)	Proporção (%)
Muito Alto (> 11)	13,89	0,2
Alto (8 a 11)	213,09	3,4
Médio (5 a 8)	1.090,47	17,4
Baixo (2 a 5)	4.722,30	75,4
Muito Baixo (< 2)	219,41	3,5
Total	6.259,16	100,0

Fonte: elaborado pelo autor

Analisando os municípios da AUSul separadamente (Tabela 7), Arroio Padre aparece com a maior proporção de sua área com Gd Muito Alto e Alto, 25,6%, e 73,1 classificado como Médio. Entretanto, Pelotas é o que apresenta maior área em extensão, com 183,67 km² (Muito Alto e Alto) e 679,69 km² (Médio). Ainda Capão do Leão apresenta Gd Muito Alto e Alto, com 9,67 km² (1,2%), e Médio de 293,68 km², mas a maior parte do município (60,9%) é classificado como Médio.

Em Rio Grande e São José do Norte não há áreas classificadas como Muito Alto e Alto, e a maior proporção é Baixo, com mais de 90% em ambos.

Tabela 7 - Área das classes de geodiversidade por município

Município	Classe de geodiversidade	Área (km ²)	Proporção (%)
Arroio do Padre	Muito Alto (> 11)	3,72	2,9
	Alto (8 a 11)	29,94	23,7
	Médio (5 a 8)	92,43	73,1
	Baixo (2 a 5)	0,35	0,3
	Total	126,43	
Capão do Leão	Muito Alto (> 11)	1,09	0,1
	Alto (8 a 11)	8,58	1,1
	Médio (5 a 8)	293,68	37,4
	Baixo (2 a 5)	477,54	60,9
	Muito Baixo (< 2)	3,48	0,4
Total	784,36		
Pelotas	Muito Alto (> 11)	9,09	0,6
	Alto (8 a 11)	174,58	10,9
	Médio (5 a 8)	679,69	42,3
	Baixo (2 a 5)	734,01	45,6
	Muito Baixo (< 2)	10,95	0,7
Total	1.608,31		
Rio Grande	Médio (5 a 8)	4,98	0,2
	Baixo (2 a 5)	2.475,69	92,5
	Muito Baixo (< 2)	196,85	7,4
Total	2.677,52		
São José do Norte	Médio (5 a 8)	19,70	1,9
	Baixo (2 a 5)	1.034,71	97,4
	Muito Baixo (< 2)	8,13	0,8
Total	1.062,54		

Fonte: elaborado pelo autor

4.3 MAPEAMENTO E ANÁLISE, EM ESCALA REGIONAL, DE CONFLITOS ENTRE USO DA TERRA E GEODIVERSIDADE NA AUSUL

A fim de analisar conflitos de uso da terra com a geodiversidade na região, em ambiente SIG, se sobrepôs os mapas do índice de geodiversidade e de uso e cobertura da terra (Figura 4) para identificar os usos e a cobertura que ocorrem em cada classe do Gd. Os dados matriciais foram convertidos em dados vetoriais e se calculou as áreas correspondentes, conforme a Tabela 8.

Observa-se que nas áreas onde o índice de geodiversidade é Muito Alto e Alto predomina a cobertura de Floresta Natural. Entretanto, logo após se destacam as áreas dos usos Agricultura e Floresta Plantada.

Tabela 8 - Classes de uso e cobertura da terra x classes de geodiversidade

Classificação da geodiversidade	Classes de uso e cobertura da terra	Área (km ²)
Muito Alto (> 11)	Floresta Natural	6,55
	Agricultura	4,51
	Formação Campestre	2,34
	Floresta Plantada	0,44
	Rio, Lago e Oceano	0,04
	Outra Área não Vegetada	0,01
	Área Úmida Natural não Florestal	0,01
Alto (8 a 11)	Floresta Natural	88,17
	Agricultura	70,10
	Formação Campestre	48,74
	Floresta Plantada	4,94
	Outra Área não Vegetada	0,41
	Rio, Lago e Oceano	0,28
	Área Úmida Natural não Florestal	0,24
	Afloramento rochoso	0,03
Infraestrutura Urbana	0,02	
Médio (5 a 8)	Agricultura	356,58
	Floresta Natural	334,12
	Formação Campestre	326,28
	Floresta Plantada	51,03
	Rio, Lago e Oceano	7,83
	Área Úmida Natural não Florestal	5,90
	Outra Área não Vegetada	3,06
	Infraestrutura Urbana	2,20
	Afloramento rochoso	0,95
Praia e Duna	0,54	
Baixo (2 a 5)	Agricultura	1.427,55
	Formação Campestre	1.415,78
	Área Úmida Natural não Florestal	946,48
	Rio, Lago e Oceano	244,40
	Floresta Natural	237,88
	Floresta Plantada	188,44
	Praia e Duna	119,81
	Infraestrutura Urbana	109,04
	Outra Área não Vegetada	21,53
	Afloramento rochoso	0,10
Muito Baixo (< 2)	Agricultura	96,14
	Área Úmida Natural não Florestal	82,79
	Formação Campestre	32,24
	Rio, Lago e Oceano	4,87
	Floresta Natural	1,51
	Floresta Plantada	1,02
	Praia e Duna	0,70
	Outra Área não Vegetada	0,05
Infraestrutura Urbana	0,04	

Fonte: elaborado pelo autor

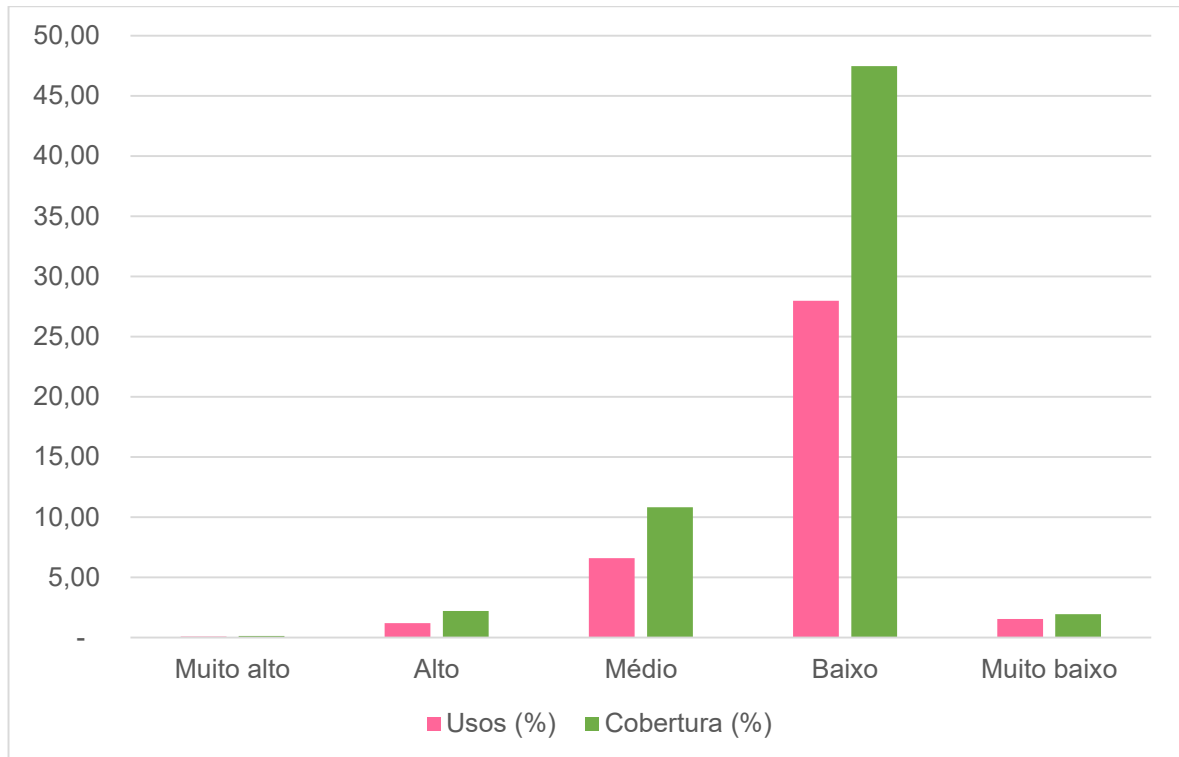
Já onde o Gd é Médio, Baixo e Muito Baixo, a Agricultura é o uso que ocupa maior área, seguida da Floresta Natural, Formação Campestre e Área Úmida Natural não Florestal. O uso Infraestrutura Urbana apresenta área pequena e não há conflito com áreas onde o Gd é Muito Alto, apresentando a maior área onde o Gd é Baixo.

Para identificar os conflitos do uso com a geodiversidade, as classes também foram agrupadas em usos (Agricultura, Floresta Plantada, Infraestrutura Urbana e Outra Área não Vegetada) e cobertura (Natural, relativa a cobertura: Floresta Natural, Formação Campestre, Rio, Lago e Oceano, Área Úmida Natural não Florestal e Praia e Duna).

O gráfico da Figura 15 apresenta a distribuição das áreas de usos e cobertura em cada classe do Gd. Os mapas da Figura 16 apresentam os usos (A) e a distribuição do Gd na área onde ocorrem os usos (B). Observa-se o aumento da proporção de cobertura em relação ao uso à medida que o índice diminui, mas reduzindo significativamente na classe Muito Baixo. Sendo o principal uso a Agricultura em todas as classes de geodiversidade, nas áreas onde o Gd é Baixo há grandes áreas de campos de dunas associados à Formação Campestre e de Área Úmida Natural não Florestal, além de solos com fertilidade baixa e pouco profundos, o que dificulta o cultivo agrícola, expandindo a cobertura. Os usos têm um incremento de área de Infraestrutura Urbana com as sedes dos municípios de Pelotas, Rio Grande e São José do Norte e do Balneário Cassino, e também de Floresta Plantada, principalmente na localidade de Bojuru, em São José do Norte, e na porção sul de Rio Grande.

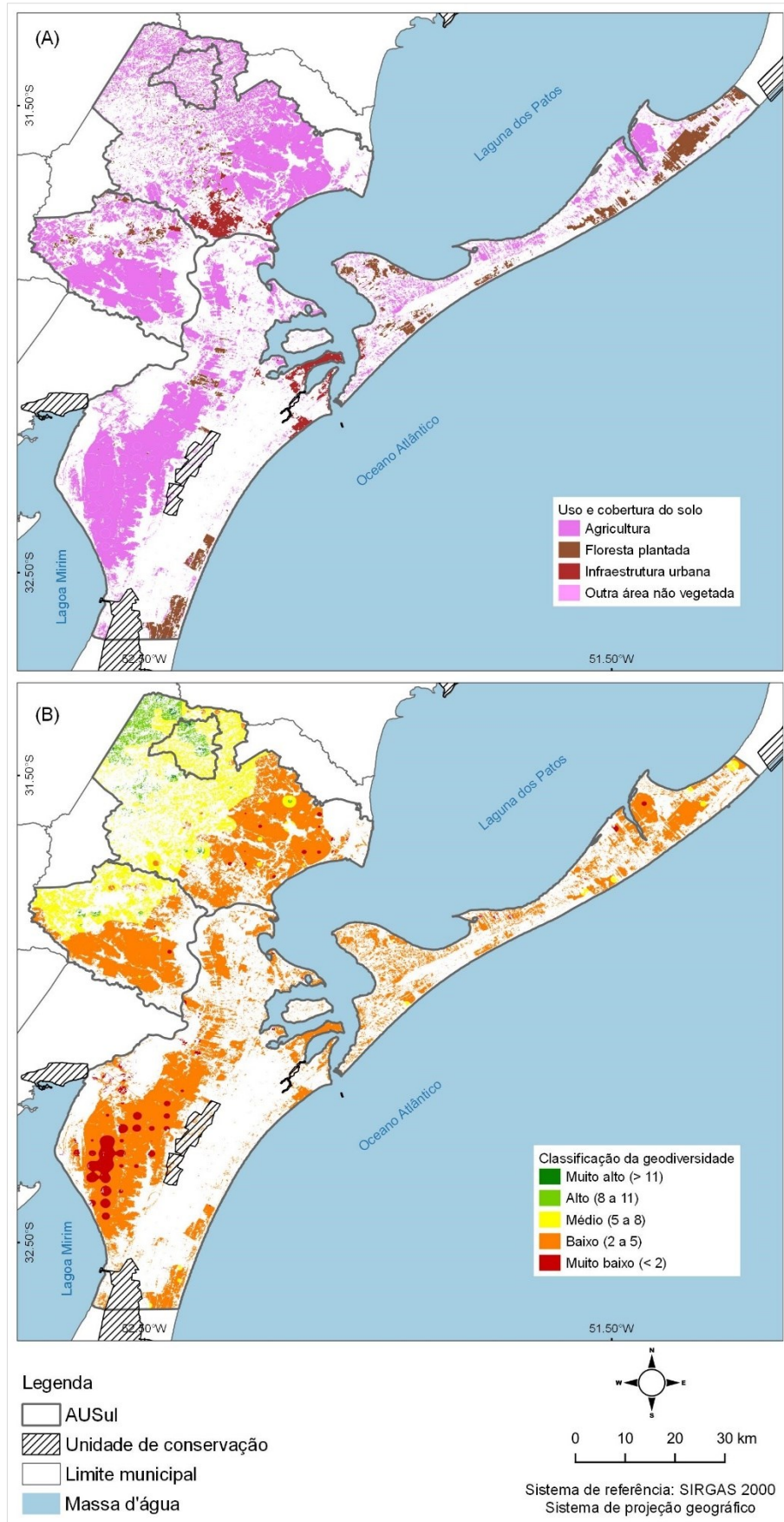
Nos mapas da Figura 16 observa-se também que não há usos em conflito com as unidades de conservação localizadas dentro da AUSul.

Figura 15 - Classes de uso e cobertura x classes de geodiversidade



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 16 - Mapas de conflito de uso e cobertura da terra com geodiversidade



Fonte: elaborado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A formação territorial da Aglomeração Urbana do Sul (AUSul), como a conhecemos hoje, inicia com a própria formação do estado do Rio Grande do Sul, com a fundação da Vila do Rio Grande, a fim de consolidar e proteger a ocupação da região pelos colonizadores portugueses. Pelotas se desenvolve com a economia das charqueadas no século XIX, e Rio Grande com o setor portuário, principalmente a partir do século XX, com seu porto se tornando o mais importante do estado. Capão do Leão, Arroio do Padre e São José do Norte se desenvolvem pelo seu setor primário.

Os dois municípios, a partir do século XIX polarizam a região, com Pelotas estendendo sua influência pela metade sul do estado. A crescente urbanização no século XX reforça essas características e na década de 1990 inicia a institucionalização da região, culminando na criação da AUSul em 2002. Atualmente, a região tem uma população de mais de 600 mil habitantes (cerca de 5,4% da população do Rio Grande do Sul), com taxa de urbanização de mais de 90%. Sua economia é dominada por Rio Grande, seguida por Pelotas, e o setor de serviços, seguido da indústria. Entretanto, a agricultura é o uso que ocupa a maior parte da área da AUSul.

A AUSul está inserida na Bacia Hidrográfica Piratini-São Gonçalo, além disso, a foz da Laguna dos Patos recebe a descarga das bacias do Camaquã, Litoral Médio e da Região Hidrográfica do Guaíba. Também está inserida na Bacia de Pelotas, com a maior parte na Planície Costeira do Rio Grande do Sul e seu extremo noroeste sobre o Escudo Sul-Riograndense. Os máximos transgressivos alcançados desde o Pleistoceno formaram o sistema de leques aluviais e deposicionais que contribuíram para formação do sistema lagunar Patos-Mirim. O relevo apresenta maiores altitudes e declividades na área sobre o Escudo, enquanto que sobre a Planície Costeira o relevo é plano, com campos de dunas e grandes áreas úmidas.

A região apresenta uma maior geodiversidade (classes Muito Alto e Alto) nos municípios de Arroio do Padre, Pelotas e Capão do Leão, sobre o Escudo-Sul-Riograndense. Esse resultado pode ser associado aos maiores valores de rugosidade do terreno, as altitudes maiores que 100 metros, a maior variedade de formas do terreno e orientação das vertentes, as falhas geológicas e afloramentos rochosos, a declividade (Forte ondulado e Montanhoso) e ao relevo de vertentes recobertas e depósitos de encosta e a variedade de classes de solo. Destacam-se também os

valores classificados como Médio associados a áreas com afloramentos rochosos, Metagranitoides foliados e granito Arroio Moinho, depósitos eluviais e coluviais e de planície lagunar; aos domínios de morros e de serras baixas, colinas dissecadas e morros baixos, vertentes recobertas por depósitos de encosta e ao longo dos terraços lagunares; e a drenagem mais ramificada. Entretanto, 78,9% da região apresenta geodiversidade Baixa e Muito baixa, associada a menor variedade geológica e de altitudes, ao relevo plano, as planícies e campos de dunas e a menor rugosidade do terreno.

Analisando a geodiversidade com o uso e a cobertura da terra, observa-se que nas áreas com índice de geodiversidade Muito Alto e Alto predominam as coberturas de cobertura de Floresta Natural e a Formação Campestre. Entretanto Agricultura e Floresta Plantada são os usos com maiores áreas, ocupando cerca de 30% nas classes Muito Alto e Alto, e a maior área onde o Gd é Médio. Onde o índice de geodiversidade é Baixo e Muito Baixo, o uso Agricultura ocupa maior área, seguido da cobertura de Floresta Natural, Formação Campestre e Área Úmida Natural não Florestal. O uso Infraestrutura Urbana, apesar da área ser pequena, aumenta consideravelmente em relação as áreas ocupadas onde o índice é baixo.

Considerando o agrupamento das classes de usos e cobertura, a proporção de cobertura em relação aos usos aumenta consideravelmente nas áreas onde o índice de geodiversidade é Médio e Baixo. Há grandes áreas de campos de dunas associados à Formação Campestre e de Área Úmida Natural não Plantada, além dos solos terem fertilidade baixa e serem pouco profundos, o que dificulta o cultivo agrícola. Já os usos têm um incremento de Infraestrutura Urbana com as sedes dos municípios de Pelotas, Rio Grande e do Balneário Cassino, e de Floresta Plantada na localidade de Bojuru, em São José do Norte, e no sul de Rio Grande. Destaca-se que não há conflito de uso antrópico com as unidades de conservação localizadas na AUSul.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a geodiversidade e identificar e analisar possíveis conflitos entre usos da terra com a geodiversidade na AUSul. Para isso, caracterizou-se a geodiversidade da região. A partir dos resultados obtidos com os métodos aplicados, conclui-se que o principal conflito é do uso Agricultura onde há maior geodiversidade, ou seja, nos municípios de Pelotas, Arroio do Padre e Capão do Leão. Destaca-se ainda as grandes áreas do uso Agricultura em Rio Grande e também a concentração do uso de Floresta Plantada na localidade de Bojuru, em São

José do Norte, e no sul de Rio Grande, ambos em áreas de campos de dunas e Formação Campestre.

Quanto ao método utilizado, uma limitação identificada é a escassez de dados em escala superior a 1:250.000 para se realizar um estudo mais detalhado, como era pretendido de início. Outra, inerente ao próprio método quantitativo utilizado, é a não identificação de áreas com notório valor estético onde resultou em índice de geodiversidade Baixo e Muito Baixo.

As unidades de conservação na AUSul não abrangem as áreas de maior geodiversidade. Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos em escala local nessas áreas a fim de identificar os valores e os benefícios da geodiversidade local e regional, e subsidiar a possível criação de áreas de proteção e propostas de uso sustentável.

REFERÊNCIAS

- BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Cronoestratigrafia da Bacia de Pelotas: uma revisão das sequências deposicionais. **Gravel**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 125–138, 2008.
- BEIERSDORF, C. R.; WIEDUSCHADT, P. Arroio do Padre/RS e sua identidade luterana: práticas de educação e cultura de uma comunidade (1950-1960). **Revista Latino-Americana de História**, São Leopoldo (RS), v. 2, n. 7, p. 421–437, 2013.
- BENITO-CALVO, A.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; MAGRI, O.; MEZA, P. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s. l.], v. 34, p. 433–1445, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/esp.1840>
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- BRASIL. **Decreto no 4.297, de 10 de julho de 2002**. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Brasília, 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm
- BRASIL. **Lei Complementar no 14, de 8 de junho de 1973**. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. Brasília, 1973. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp14.htm
- BRASIL. **Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm
- BRASIL. **Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm
- BRASIL. **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. Brasília, 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13089.htm
- BRILHA, J. B. R.; 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 and Policy**, [s. l.], n. 86, p. 19–28, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>

BRILHA, J. B. R. **Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica.** Braga (Portugal): Palimage Editores, 2005.

CARGNIN, A. P. A dimensão territorial do planejamento governamental: políticas de desenvolvimento regional no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Inclusão Social**, Brasília, v. 6, n. 1, p. 13–32, 2012.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro.** Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CPRM, 2006. Escala 1:750.000. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf

CUNHA, N. G. **Caracterização dos solos de São José do Norte, Tavares e Mostardas - RS:** Documentos CPACT. Pelotas (RS): EMBRAPA/CPACT, Editora UFPel, 1994. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=738485&biblioteca=vazio&busca=738485&qFacets=738485&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C. **Estudo dos solos do município de Capão do Leão:** Documentos CPACT. Pelotas (RS): EMBRAPA/CPACT, Editora UFPel, 1996a. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/739871>.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C. **Estudo dos solos do município de Pelotas:** Documentos CPACT. Pelotas (RS): EMBRAPA/CPACT, Editora UFPel, 1996b. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/739840>.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C.; SEVERO, C. R. S. **Estudo dos solos do município de Rio Grande:** Documentos CPACT. Pelotas (RS): EMBRAPA/CPACT. Editora UFPel, 1996. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/737762>.

DAVIDOVICH, F. R.; LIMA, O. M. B. Contribuição ao estudo de aglomerações urbanas no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 1, p. 50–84, 1975.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SPI, 2006.

FIORI, J. L. Reforma ou sucata? O dilema estratégico do setor público brasileiro. In: **Em busca do dissenso perdido: ensaios críticos sobre a festejada crise do estado.** Rio de Janeiro: Insight Editorial, 1995. p. 97–119.

FORTE, J. P. **Avaliação quantitativa da geodiversidade: desenvolvimento de instrumentos metodológicos com aplicação ao ordenamento do território.** 304 f. 2014. Tese (Doutoramento em Ciências) - Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga (Portugal), 2014. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/35857>

GALIANA, L.; VINUESA, J. **Teoría y práctica para una ordenación racional del territorio.** 1. ed. Madrid (Espanha): Editorial Sintesis, 2010.

GALVÃO, M. V.; FAISSOL, S. Divisão regional do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 4, p. 179–218, 1969.

GARCIA, V. M. **Leitura geográfica das transformações socioeconômicas em São José do Norte no século XXI.** 69 f. 2011. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), 2011.

GAUTÉRIO, D. M. **Evolução urbana da cidade de São José do Norte.** 75 f. 1997. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), 1997.

GRAY, M. Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. B. R. **Geoheritage: assessment, protection and management.** Amsterdã (Holanda): Elsevier, 2018. p. 13–25.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature.** 1. ed. Chichester (Reino Unido): John Wiley & Sons, 2004.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature.** 2. ed. Chichester (Reino Unido): Wiley-Blackwell, 2013.

GRAY, M. Other nature: geodiversity and geosystem services. **Environmental Conservation**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 271–274, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0376892911000117>

GUADAGNIN, D. L.; BURGER, M. I.; VÉLEZ, E.; MENEGHETI, J. O.; DOTTO, J. C. P. Delineamentos metodológicos do programa de pesquisa e monitoramento de fauna cinegética no Rio Grande do Sul, Brasil. In: SEMINARIO TALLER SOBRE MONITOREO AMBIENTAL, ROCHA, NOVIEMBRE DE 1998, 2000, Rocha (Uruguai). **Anais [...]**. Rocha (Uruguai): UNESCO/Probides, 2000. p. 135–146.

GUTIERREZ, F. B. MARTINS, S. E.; HONSCHA, L. C.; BRUM, R. L.; VARGAS, V. M. F. Is There Something in the Air? Sources, Concentrations and Ionic Composition of Particulate Matter (PM_{2.5}) in an Industrial Coastal City in Southern Brazil. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s. l.], v. 231, n. 225, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04611-0>

HJORT, J.; LUOTO, M. Geodiversity of high latitude landscapes in northern Finland. **Geomorphology**, [s. l.], n. 112, p. 324–333, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.039>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 16 jan. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão do Brasil em regiões funcionais urbanas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão Urbano Regional**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas da População**. 2019a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 16 jan. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Geomorfologia - Folhas SH.22-Y-C, SH.22-Y-D, SH.22-Z-C, SI.22-V-A e SI.22-V-B**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b. Escala 1:250.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=acesso-ao-produto>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno Bruto dos Municípios**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 16 jan. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Regiões de Influência das Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 1987.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Regiões de Influência das Cidades 1993**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Regiões de Influência das Cidades 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA); INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE); UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil**: configurações atuais e tendências da rede urbana. Brasília: IPEA, 2001a. v. 1.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA); INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE); UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil**: estudos básicos para a caracterização da rede urbana. Brasília: IPEA, 2001b. v. 2.

JURINITZ, C. F.; JARENKOW, J. A. Estrutura do componente arbóreo de uma floresta estacional na Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 475–487, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042003000400006>

KOZLOWSKI, S. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. **Przegląd Geologiczny**, [s. l.], v. 52, n. 8/2, p. 833–837, 2004.

MANOSSO, F. C.; NÓBREGA, M. T. Calculation of Geodiversity from Landscapes Units of the Cadeado Range Region in Paraná, Brazil. **Geoheritage**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 189–199, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12371-015-0152-1>

MAPBIOMAS. **Coleção 4.1**. 2020. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>. Acesso em: 30 mar. 2020.

MARTÍNEZ, E. D.; MONDÉJAR, F. G.; PERELLÓ, J. M. M.; BOVÉ, C. S. The nature conservation should include geodiversity and geological heritage as part of the natural heritage. **Tribune Opine Boletín Europarc**, [s. l.], n. 25, p. 61, 2008.

MARTINS, S. F. **Cidade do Rio Grande: industrialização e urbanidade (1873-1990)**. Rio Grande (RS): Ed. da FURG, 2006.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 11, p. 49–83, 1961.

MOURE, T. R. **História do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FTD, 1994.

MUNHOZ, E. A. P.; LOBO, H. A. S. Proteção e conservação da geodiversidade na legislação brasileira. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 21–30, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v26i1.1236>

ORY, V. B. **Introducción a la ordenación del territorio: un enfoque geográfico**. 1. ed. Zaragoza (Espanha): Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008.

PELLITERO, R.; MANOSSO, F. C.; SERRANO, E. Mid- and large-scale geodiversity calculation in Fuentes-Carrionas (NW Spain) and Serra do Cadeado (Paraná, Brazil): Methodology and application for land management. **Geografiska Annaler: Series A. Physical Geography**, [s. l.], v. 97, n. 2, p. 19–235, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/geoa.12057>

PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P.; BRILHA, J. B. R.; SANTOS, L. Geodiversity assessment of Parana State (Brazil): An innovative approach. **Environmental Management**, [s. l.], n. 28, p. 1–10, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0100-2>

PUJADAS, R.; FONT, J. **Ordenación y planificación territorial**. 1. ed. Madrid (Espanha): Editorial Síntesis, 1998.

RAMOS, B. R. **Diagnóstico urbano-rural do desenvolvimento social na Aglomeração Urbana do Sul**: uma análise dos rendimentos escolares, estrutura ocupacional e acesso às infraestruturas e oportunidades. 90 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/180212>

RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA (RBMA). **Revisão periódica (2008-2018) e atualização dos limites e zoneamento da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica - RBMA Fase 7**. São Paulo: RBMA, 2018. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80252/Fase%207%20Por.pdf>.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Complementar 10.335, de 28 de dezembro de 1994**. Institui a Aglomeração Urbana do Nordeste e dispõe sobre a gestão regional e o órgão de apoio técnico. Porto Alegre, 1994. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.335.pdf>

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Complementar no 9.184, de 26 de dezembro de 1990**. Institui Aglomeração Urbana. Porto Alegre, 1990. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/11.876.pdf>

RIO GRANDE DO SUL. **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. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/FileRepository/repLegisComp/Lec%20n%C2%BA%2011.876.pdf>

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Complementar no 12.100, de 27 de maio de 2004**. Institui a Aglomeração Urbana do Litoral Norte, dispõe sobre a gestão regional e dá outras providências. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/12.100.pdf>

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Complementar no 14.293, de 29 agosto de 2013**. Cria a Região Metropolitana da Serra Gaúcha. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/LEC%2014.293.pdf>

RODRIGUES, S. C.; BENTO, L. C. M. Cartografia da geodiversidade: teorias e métodos. In: GUERRA, J. T.; JORGE, M. C. O. **Geoturismo, geodiversidade e geoconservação**: abordagens geográficas e geológicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. p. 128–162.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul**: variabilidade, tendências e tipologia. 240 f. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/32620>

RÜCKERT, A. A. **Reforma do estado e tendências de reestruturação territorial. Cenários contemporâneos no Rio Grande do Sul.** 2001. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SANTOS, D. S.; MANSUR, K. L.; GONÇALVES, J. B.; ARRUDA JUNIOR, E. R.; MANOSSO, F. C. Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. **Applied Geography**, [s. l.], v. 85, p. 184–195, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.03.009>

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA-RS); FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Base Cartográfica do Rio Grande do Sul, Escala 1:25.000 - BCRS25.** Porto Alegre: SEMA-RS, FEPAM, 2018. Disponível em: <http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/>.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO DO RIO GRANDE DO SUL (SEPLAG-RS). **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.** 2019. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br>.

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity. A theoretical and applied concept. **Geographica Helvetica**, [s. l.], v. 62, n. 3, p. 140–147, 2007a. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gh-62-140-2007>

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity: concept, assessment and territorial application. The case of Tiernes-Caracena (Soria). **Boletín de la AGE**, [s. l.], n. 45, p. 389–393, 2007b.

SHARPLES, C. Geoconservation in forest management - principles and procedures. **Tasforests**, [s. l.], v. 7, p. 37–50, 1995.

SILVA, R. P.; GONÇALVES, R. R.; CARVALHO, A. B. K.; OLIVEIRA, C. O impacto do Polo Naval no setor imobiliário da cidade do Rio Grande - RS. In: ENCONTRO DE ECONOMIA GAÚCHA, 6, 2012, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: PUCRS, 2012. Disponível em: http://cdn.fee.tche.br/eeg/6/mesa3/O_Impacto_do_Polo_Naval_no_Setor_Imobiliario_da_cidade_de_RioGrande_RS.pdf

SILVA, R. P.; OLIVEIRA, C. R. A percepção da poluição na cidade de Rio Grande - RS. **Sinergia**, Rio Grande (RS), v. 15, n. 2, p. 21–31, 2011.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **SNIS Série Histórica.** 2018. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 17 jan. 2020.

SOARES, P. R. R. **Del proyecto urbano a la producción del espacio: morfología urbana de la ciudad de Pelotas, Brasil (1812-2000)**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia) - Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Barcelona, Barcelona (Espanha), 2002.

SOARES, P. R. R. Região Metropolitana ou Aglomeração Urbana? O debate no Rio Grande do Sul. **e-metropolis**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 15, p. 21–29, 2013.

COMISSÃO ESTATÍSTICA DAS NAÇÕES UNIDAS (STATCOM). **A recommendation on the method to delimitate cities, urban and rural areas for international statistical comparisons: Items for discussion and decision: demographic statistics**. Nova York (EUA): StatCom, 2020. Disponível em: <https://unstats.un.org/unsd/statcom/51st-session/documents/BG-Item3j-Recommendation-E.pdf>.

TAVARES, M. F. B. **Análise do imposto predial urbano (IPTU) na cidade de Pelotas/RS**. 64 f. 2011. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), 2011.

TOMAZELLI, J. L.; VILLWOCK, J. A. **O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul**. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2000. p. 375–406.

TORRES, L. H. **Os Molhes da Barra e Capão do Leão**. In: SANTOS, D. F. *et al.* (Orgs.). **Olhares Sobre Capão do Leão**. São Leopoldo: Oikos, 2014. p. 91–110.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Mapa da Cobertura Vegetal do Bioma Pampa: ano-base 2009**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Escala 1:250.000. Disponível em: https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/downloads/?option=com_content&view=article&layout=edit&id=245

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA OS ASSENTAMENTOS HUMANOS (UN-HABITAT). **Concepts, definitions and data sources for the study of urbanization: the 2030 Agenda for sustainable development**. Nova York (EUA): ONU, 2017. Disponível em: <https://www.un.org/en/development/desa/population/events/pdf/expert/27/papers/II/paper-Moreno-final.pdf>.

VILLAÇA, F. **Espaço intraurbano no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, FAPESP, Lincoln Institute, 2001.

WEATHER ATLAS. **Pelotas, Brazil**. 2020. Disponível em: <https://www.weather-atlas.com/en/brazil/pelotas>. Acesso em: 31 ago. 2020.

WORLD FORUM ON NATURAL CAPITAL (WFNC). **What is natural capital?** 2020. Disponível em: <https://naturalcapitalforum.com/about/>. Acesso em: 7 abr. 2020.

ZWOLINSKI, Z.; NAJWER, A.; GIARDINO, M. Methods for assessing geodiversity. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. B. R. **Geoheritage**: assessment, protection and management. Amsterdã (Holanda): Elsevier, 2018. p. 27–52.