



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Uso da Terra e Ameaças à Geodiversidade no Bioma Pampa Brasileiro¹

¹Ândrea Lenise de Oliveira Lopes; ²Vinícius Bartz Schwanz; ³Adriano Luís Heck Simon

¹Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima nº 1000, Prédio 17, 1º andar, Sala 1132, Bairro Camobi, Santa Maria/RS, email: lopes.andrea.geo@gmail.com; ²Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Rua Cel. Alberto Rosa, n. 154, sala 135A, email: viniciusbschwanz@gmail.com; ³Departamento de Geografia e Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pelotas, Rua Cel. Alberto Rosa, n. 154, sala 105 (Laboratório de Estudos Aplicados em Geografia Física), email: adriano.simon@ufpel.edu.br.

Artigo recebido em 01/12/2023 e aceito em 01/05/2024

RESUMO

A geodiversidade corresponde a porção abiótica da paisagem, suas interações e processos físicos sendo que suas principais ameaças estão vinculadas às mudanças nos usos da terra. Este trabalho procura apresentar uma metodologia para a avaliação das ameaças à geodiversidade oriundas do uso da terra por meio de um índice aplicado ao bioma Pampa brasileiro. O índice de coberturas e usos da terra foi idealizado a partir da ponderação da área ocupada pelas coberturas e pelos usos da terra, considerando a intensidade de seus impactos à geodiversidade. Os resultados indicaram a presença das seguintes classes de cobertura e uso da terra: Formação Florestal, que ocupa 12,10% (4998772,17 km²) do Pampa; a Formação Natural não Florestal, que abrange cerca de 34,58% (509664,85 km²) do território do bioma; a Agropecuária, que atinge 42,25% (2766069,67 km²) do território, a classe Outras Áreas não Vegetadas, que foi verificada em 1,76% (61015,49 km²) da área e os Corpos d' Água, que ocupam 9,5% (170924,56 km²). Os resultados indicam que o Pampa está inserido em um contexto de média a alta ameaças à geodiversidade oriundas das práticas de usos da terra, visto que, juntas as classes de Média, Alta e Muito Alta ameaças obtiveram 76,5% do total das cartas de recobrimento da área, distribuídas em todas as regiões do Pampa, associadas principalmente às atividades agrícolas. Os resultados identificados podem ser cruzados com o índice de geodiversidade, contribuindo para a identificação de *hotspots* de geodiversidade no Pampa.

Palavras-chave: Ocupação do Espaço, Índice de Ameaças à Geodiversidade, Avaliação da Geodiversidade, Gestão do Território, Conservação da Natureza

Land Use and Threats to Geodiversity in the Brazilian Pampa Biome

ABSTRACT

Geodiversity corresponds to the abiotic portion of the landscape, its interactions, and physical processes, with its main threats being linked to changes in land use. This study aims to present a methodology for evaluating threats to geodiversity arising from land use through an index applied to the Brazilian Pampa biome. The land cover and use index was devised by weighing the area occupied by different land covers and uses, considering the intensity of their impacts on geodiversity. The results indicated the presence of the following land cover and use classes: Forest Formation, which occupies 12.10% (4,998,772.17 km²) of the Pampa; Non-Forest Natural Formation, which covers about 34.58% (509,664.85 km²) of the biome's territory; Agriculture, which reaches 42.25% (2,766,069.67 km²) of the territory; the class Other Non-Vegetated Areas, which was found in 1.76% (61,015.49 km²) of the area; and Water Bodies, which occupy 9.5% (170,924.56 km²). The results indicate that the Pampa is within a context of medium to high threats to geodiversity arising from land use practices, as the classes of Medium, High, and Very High threats together accounted for 76.5% of the total area cover maps, distributed throughout all regions of the Pampa, mainly associated with agricultural activities. The identified results can be cross-referenced with the geodiversity index, contributing to the identification of geodiversity hotspots in the Pampa.

¹ Esta pesquisa apresenta avanços no trabalho publicado no XV Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, em Palmas-TO, em outubro de 2023; Resultados derivados da tese de doutorado intitulada "Identificação de *Hotspots* de Geodiversidade no Bioma Pampa Brasileiro: subsídios à geoconservação em escala regional" em fase final de desenvolvimento.

Keywords: Space Occupation, Geodiversity Threat Index, Geodiversity Assessment, Territory Management, Nature Conservation.

Introdução

A geodiversidade corresponde a porção não viva da paisagem e é constituída pela geologia, relevo, hidrografia e os solos, suas interações e processos físicos atuantes (Bétard, 2017; Hjort et al., 2024). Além disso, é considerada o substrato que sustenta a vida na Terra (Gray, 2013). Brilha (2005) afirma que a geodiversidade influenciou na organização espacial das civilizações ao longo da história e ainda interfere nas sociedades atuais, em suas atividades econômicas, culturais e religiosas.

Para Claudino-Sales (2021) a geodiversidade abrange uma série de elementos abióticos cruciais para a compreensão do meio ambiente. Isso inclui a diversidade geológica (rochas, minerais, fósseis), a geomorfodiversidade (formas de relevo e topografia), a pedodiversidade (tipos de solo), a hidrodiversidade (rios, lagos, lagoas, áreas úmidas) e também a climodiversidade (climas). Esses componentes oferecem *insights* sobre a história geológica, a formação da paisagem, a conservação do solo, a gestão dos recursos hídricos, os padrões climáticos e a integridade dos ecossistemas. O estudo da geodiversidade possibilita a compreensão da interconexão e da complexidade do ambiente abiótico, o que é essencial para uma gestão e conservação ambiental eficazes.

Thomas (2022) destaca que existe uma interdependência entre a geodiversidade e a biodiversidade caracterizada pelos serviços ecossistêmicos, onde a diversidade abiótica influencia diretamente na diversidade biológica e na capacidade dos ecossistemas de fornecer serviços essenciais como regulação e sustentação da vida. Além disso, a compreensão dessa interdependência é relevante para a preservação dos sítios geológicos e geomorfológicos, refletindo para a conservação da biodiversidade associada a esses ambientes únicos. A gestão ambiental integrada também se beneficia dessa consideração conjunta, permitindo estratégias de conservação mais abrangentes e sustentáveis que reconheçam as interações complexas entre os elementos abióticos e bióticos.

Alahuhta et al. (2022) destaca que a alta geodiversidade contribui para a manutenção da biodiversidade, apoiando estratégias de conservação da natureza e planejamento ambiental. A influência positiva da geodiversidade na biodiversidade decorre da ideia de que a maior variação no ambiente abiótico resulta em mais espaços de nicho disponível para diferentes

organismos, resultando em uma maior biodiversidade total. Portanto, a geodiversidade desempenha um papel crucial na formação de habitats e no fornecimento de recursos para várias espécies, contribuindo para a diversidade geral da natureza (Nieto, 2023; Tukiainen et al., 2023; Vernham et al., 2023;)

Para além do suporte à biodiversidade, a geodiversidade possui importância também para o desenvolvimento econômico e humano. Assim, a diversidade abiótica global está sujeita a várias formas de apropriação, ocupação e exploração dos seus elementos (Manosso e Ondicol, 2012; Gray, 2013). Esses processos geralmente ocorrem de forma sistemática e sem planejamento, ações de manejo dos impactos negativos e/ou estratégias para a recuperação das áreas degradadas.

Assim como ocorre com a biodiversidade, a principal ameaça à geodiversidade está vinculada às mudanças nos padrões das coberturas da terra, derivadas dos distintos usos da terra (Hudson e Inbar, 2012; Hjort et al., 2015). Estas mudanças desencadeiam respostas rápidas nas paisagens, que muitas vezes extrapolam os limites geológico-geomorfológicos e ecológicos dos sistemas naturais, ocasionando a degradação e a vulnerabilidade a desastres naturais.

Os elementos da geodiversidade como um todo, não se regeneram em um período de tempo humano. Ao contrário, na maioria das vezes sua recuperação exige longos períodos de tempo e condições climáticas e ambientais específicas, podendo nunca ocorrer na escala de tempo das sociedades ou, de fato, nunca mais serem possíveis. Este fato dificulta sua recuperação ou regeneração e pode ocasionar sua extinção (Manosso e Ondicol, 2012), levando parte da memória do planeta a ser perdida para sempre (Azevedo, 2007).

Gray (2013), elenca oito tipos de danos a geodiversidade oriundos do uso inadequado de seus elementos: 1. perda total; 2. perda parcial ou dano físico; 3. fragmentação do interesse; 4. perda de visibilidade; 5. perda de acessibilidade; 6. interrupção do processo natural por impactos fora do sítio; 7. poluição e 8. impacto visual.

Com a intenção de promover a reflexão sobre os diversos tipos de ameaças às quais a geodiversidade está condicionada, Botelho (2018) propõe o termo “geoextinção”, referindo-se à destruição total ou ao desaparecimento da paisagem protagonizada por um ou mais elementos da geodiversidade. A autora menciona ainda que a geoextinção pode ser ocasionada por fenômenos naturais ou antrópicos (Gray, 2013; Botelho, 2018).

Quando relacionada a fenômenos naturais, pode ser resultante de eventos de grande magnitude, como o vulcanismo e o tectonismo, também responsáveis pela formação de novos arranjos espaciais dos elementos abióticos.

A geoextinção originada pela ação humana tem sido a responsável pelas ameaças às geoformas, pela diminuição da ocorrência de minérios com valor econômico e pelo desenvolvimento de obras de drenagem que elimina rios, seus compartimentos e suas sinuosidades naturais, além de impactarem na descarga sedimentar e hídrica. Nesse contexto, Botelho (2018) cita como exemplo o desaparecimento das Setes Quedas no Rio Paraná, extintas para a construção do lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Foz do Iguaçu/PR), no ano de 1982.

Assim, os métodos que visam medir o impacto das atividades humanas na geodiversidade são essenciais para o desenvolvimento sustentável, para a gestão territorial e para o suporte às ações voltadas à geoconservação. Mesmo diante de sua importância, as discussões teóricas e metodológicas que mensuram a relação entre geodiversidade e as distintas formas de apropriação do espaço derivadas do uso da terra ainda são raras na literatura (Bétard, 2017).

Para Bétard e Peulvast (2019), as principais ameaças humanas à geodiversidade estão vinculadas ao crescimento urbano, a impermeabilização e a degradação dos solos (desertificação, desmatamento, práticas agrícolas intensivas, expansão industrial), bem como à maior vulnerabilidade externa oriunda da ausência de mecanismos de proteção legal dos elementos abióticos.

De acordo com Datta (2022) as principais ameaças do uso da terra à geodiversidade incluem: (a) a urbanização e expansão urbana, pois o crescimento das áreas urbanas muitas vezes resulta na perda de áreas naturais e geodiversidade associada; (b) a expansão da agricultura intensiva, incluindo o uso extensivo de pesticidas e fertilizantes, que pode levar à degradação dos solos, com consequente acentuação de processos erosivos e perda de diversidade geológica e geomorfológica; (c) a mineração que causa danos significativos à geodiversidade, incluindo a remoção de formações geológicas únicas, a contaminação do solo e da água superficial e subsuperficial, além de alterações irreversíveis na paisagem; (d) o desmatamento e a alteração das coberturas naturais para fins como agricultura, pecuária e desenvolvimento urbano, que pode resultar tanto na perda de biodiversidade e na degradação dos recursos geológicos e

geomorfológicos a partir do desequilíbrio dos aspectos morfodinâmicos e morfogênicos; e (e) a poluição do ar, da água e do solo, juntamente com as mudanças climáticas, que podem afetar negativamente a geodiversidade, causando distúrbios à dinâmica dos elementos da abióticos em escalas locais à globais.

Também são verificadas ameaças oriundas das atividades como a construção de barragens e a mineração, que são empreendimentos que exercem influências ambientais e sociais significativas em níveis regionais. Enquanto as operações diretas dessas atividades podem ser localizadas e específicas, os impactos indiretos transcendem os limites geográficos e afetam extensas áreas, gerando efeitos secundários em comunidades e ecossistemas circunvizinhos.

Ainda no âmbito das ameaças antropogênicas à geodiversidade, de Borba (2011) e Gray (2013) destacam atividades como a mineração, as obras de engenharia como barragens, hidrelétricas e rodovias, atividades agrossilvipastoris, as mudanças nos usos da terra, a coleta de amostras, incêndios, disposição inadequada de resíduos sólidos, ocupação urbano-industrial em zonas costeiras, turismo predatório e o desconhecimento dos gestores e sociedade em geral sobre a importância de conservação dos locais representativos da geodiversidade.

De acordo com Kubalíková e Balková (2023) a identificação das ameaças à geodiversidade fornece informações valiosas para a gestão do território e estruturação de políticas públicas voltadas à geoconservação, por meio de planos de ação estratégicos e eficazes para mitigar os impactos e promover a conservação dos locais de interesse geopatrimonial e geossítios. Conhecer e identificar as ameaças também viabiliza o estabelecimento de indicadores e sistemas de monitoramento para avaliar a eficácia das medidas de conservação ao longo do tempo.

Os estudos que procuram evidenciar as ameaças à geodiversidade estão atrelados a identificação de pressões antropogênicas e impactos às variáveis específicas da geodiversidade, seus valores ou aos serviços ecossistêmicos que ofertam (Pereira e da Silva Farias, 2016; Reverte et al., 2020; Pereira Balaguer et al., 2022). Tais resultados podem ter importantes contribuições para a gestão territorial e para a identificação de áreas estratégicas com vistas à geoconservação.

Bétard (2017) afirma que a avaliação das ameaças à geodiversidade exige uma perspectiva crítica, a fim de distinguir as ações humanas que não se configuram como ameaças diretas à geodiversidade das que contribuem para sua

degradação. De posse dessas avaliações é possível relacioná-las com os índices da geodiversidade e por fim, delimitar as áreas que combinam altos valores de geodiversidade submetidos a significativas ameaças. Tais locais têm sido compreendidos, numa perspectiva mais contemporânea, como *hotspots* de geodiversidade.

Nesse sentido, é urgente a necessidade de sistematização de métodos que se proponham a avaliar os impactos à geodiversidade oriundos de atividades antrópicas, que podem ser mensurados por meio do mapeamento de coberturas e usos da terra.

Conceito de Hotspot de Geodiversidade

O uso do termo “*hotspot*” nas análises ambientais tem suas origens no campo da biologia da conservação (Myers, 1988; Bétard, 2017). Compreende áreas com significativos níveis de biodiversidade submetidas a elevados níveis de destruição. Assim, para que determinado sistema seja considerado como um *hotspot* de biodiversidade, precisa atender a dois critérios: 1) deve abarcar pelo menos 1.500 espécies de plantas endêmicas (ou seja, rico e insubstituível) e 2) deve possuir ao menos 30% de vegetação primária altamente ameaçada. A identificação dessas áreas permitiu a definição de espaços prioritários para a conservação no mundo e desempenha, atualmente, importante papel para a tomada de decisão nas estratégias de proteção à biodiversidade.

No âmbito da geoconservação, o uso do termo *hotspots* vinculado à geodiversidade foi inicialmente abordado por Gray (2004; 2013), para caracterizar as áreas que compreendem a alta geodiversidade oriunda das características morfogênicas regionais, como: (a) áreas com longa e complexa história geológica; (b) margens de placas tectônicas ou falhamentos; (c) áreas com significativas altitudes e amplitudes altimétricas e (d) regiões costeiras. Assim, verifica-se a ausência da variável ameaça à geodiversidade na definição pioneira proposta pelo autor citado.

Diante da compreensão da origem terminológica do conceito de *hotspots* e dos critérios necessários para sua identificação, Bétard (2017) propôs, de forma precursora, a adaptação conceitual e metodológica do termo para os estudos aplicados à geodiversidade, definindo *hotspots* de geodiversidade como “áreas geográficas que abrigam níveis muito altos de geodiversidade e que, ao mesmo tempo, estão submetidas à ameaças oriundas de atividades humanas” (Bétard, 2017, p. 114, tradução nossa).

Assim, o autor sugere, em termos procedimentais, a avaliação dos *hotspots* de

geodiversidade contemplando a correspondência espacial entre as áreas com elevada concentração da variabilidade espacial da geodiversidade (obtida por meio do cálculo do índice de geodiversidade), com o índice de ameaças à geodiversidade, obtido pela assimilação de três parâmetros: 1) nível de proteção ambiental (mensurado por meio da existência de áreas protegidas); 2) o grau de degradação ambiental (mensurado pelas atividades de mineração), e 3) os tipos de usos da terra derivados do processo de ocupação do espaço.

Nesse sentido, pelo reconhecimento da relevância das coberturas e dos usos da terra nas ações de gestão territorial, esse artigo tem o objetivo de apresentar uma metodologia para a avaliação das ameaças à geodiversidade oriundas do uso da terra por meio de um índice aplicado na área de abrangência do bioma Pampa brasileiro, contribuindo para a análise e gestão da geodiversidade em áreas afetadas por atividades humanas.

O Pampa se encontra em um acelerado processo de transformação dos campos nativos em lavouras e silvicultura (Baeza et al., 2022). A expansão da agricultura, principalmente da soja, está ocorrendo em áreas não adequadas para o cultivo, levando à destruição das características naturais. Com o aumento da demanda e do preço no mercado internacional, os agricultores buscam expandir as lavouras sobre áreas não cultivadas, mesmo que não sejam as mais apropriadas. Isso resulta em impactos negativos, como a perda de biodiversidade e da geodiversidade, levando à previsão de que até 2050 restarão apenas cerca de 12% do bioma preservado (Brasil de Fato, 2024).

A proposição de um índice de ameaças do uso da terra à geodiversidade no bioma Pampa permitirá uma avaliação sistemática e abrangente dos impactos das atividades humanas na geodiversidade da região, fornecendo uma base científica para o desenvolvimento de estratégias de ordenamento territorial, elaboração de políticas públicas e tomada de decisões sobre as questões ambientais nesse bioma (Mallinis et al., 2023; Nieto, 2023).

Metodologia

Contextualização Abiótica do Pampa Brasileiro

O bioma Pampa brasileiro (Figura 1) compreende uma área geográfica de 193.915 km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2019), estando restrito ao estado do Rio Grande do Sul, no extremo sul do Brasil. Possui vegetação do tipo campestre, denominada de *Pastizales del Río de la Plata* (Campos do Rio da

Prata) que se estende também pelos territórios do Uruguai e nordeste da Argentina (Figura 1). Em conformidade com o Mapbiomas (2021), o Pampa gaúcho é o bioma brasileiro que proporcionalmente mais perdeu vegetação nativa entre os anos de 1985 e 2020 (cerca de 2,5 milhões de hectares de área).

Este fato representa implicações sobre a geodiversidade e sua dinâmica, considerando que a cobertura vegetal é responsável pela manutenção do equilíbrio de processos hidgeomorfológicos e pedológicos da geodiversidade.

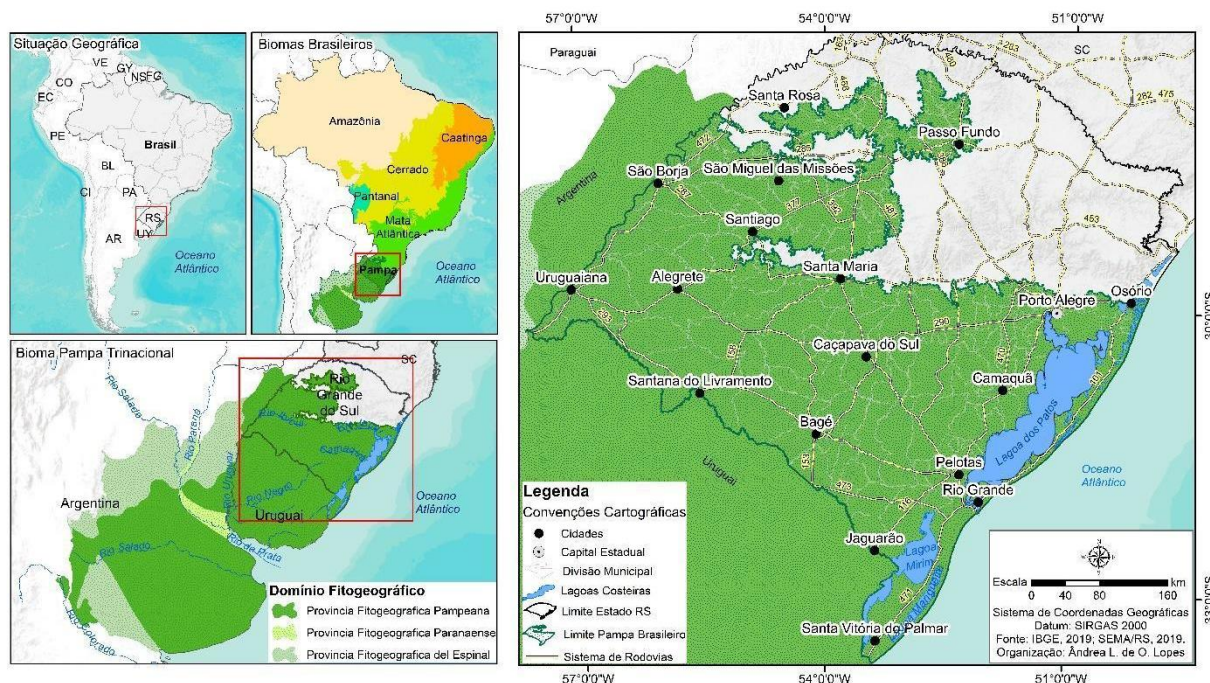


Figura 1: Localização Geográfica do Bioma Pampa.

O Pampa brasileiro está assentado sobre três províncias geológicas: Complexos Granitóides e Corpos Máficos associados ao Escudo Sul-riograndense, Sequências Vulcanossedimentares da Bacia do Paraná e as Coberturas Sedimentares da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. O Escudo Sul-riograndense é a província mais antiga, composta predominantemente por rochas magmáticas intrusivas abissais e metamórficas que correspondem ao período Pré-Cambriano (mais do que 550 milhões de anos) (Wildner e Lopes, 2010).

A Depressão Central Gaúcha e as extrusões magmáticas associadas à Formação Serra Geral compõem as Sequências Vulcanossedimentares da Bacia do Paraná. A depressão Central Gaúcha foi formada pela subsidência de uma imensa área constituída por rochas ígneas cristalinas após o Permiano, resultando em rochas sedimentares compostas principalmente por arenitos, siltitos e argilitos. As rochas sedimentares têm uma composição mineralógica diversificada, porém os solos arenosos dominam esta província. No final do Cretáceo, a fragmentação do continente Pangeia suspendeu a sedimentação na Bacia do Paraná. Posteriormente, várias extrusões magmáticas ocorreram nas fendas entre a América do Sul e a

África que então cobriam a maior parte das rochas sedimentares. Tais extrusões geraram a Formação Serra Geral, localizada na porção noroeste do bioma Pampa, onde o basalto é o material de origem dominante (Wildner e Lopes, 2010).

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul é a província geológica mais jovem do bioma, formada durante o Quaternário, localizada na porção sudeste (zona costeira), onde predominam os sedimentos recentes e, portanto, pouco consolidados (Tomazelli e Villwock, 2000).

No que se refere à geomorfologia, no Pampa são identificados seis domínios geomorfológicos: Planície Costeira, Planalto Sul-Rio-Grandense, Depressão Central Gaúcha, Cuesta de Haedo, Planalto de Uruguai e Planalto Dissecado do Rio Uruguai (Dantas et al., 2010). As altimetrias variam de 1 m a 812 m, onde os menores valores estão inseridos em porções da Planície Costeira e as maiores altitudes associadas às áreas de planaltos, principalmente no Planalto das Missões (de Oliveira Lopes et al., 2022).

A Planície Costeira é formada por um conjunto de ambientes deposicionais, geralmente arenosos, de origem marinha, eólica, lagunar e fluvial. Divide-se em dois segmentos: Planície

Costeira Externa, onde predominam as feições de origem marinha e eólica, e a Planície Costeira Interna, com o predomínio de formas fluviais e lacustres relacionadas aos dois maiores corpos lagunares do território brasileiro: Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim (Tomazelli e Villwock, 2000; Dantas et al., 2010).

O Planalto Sul-Rio-Grandense possui duas unidades geomorfológicas: os Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava e o Planalto Rebaixado Marginal (RADAMBRASIL, 1986). Nos Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava o relevo se apresenta dissecado em forma de colinas, ocorrendo também áreas de topo plano. A influência estrutural é observada pela presença de vales encaixados e escarpas. O Planalto Rebaixado Marginal encontra-se bastante dissecado, caracterizando um relevo de colinas, interflúvios tabulares e cristas (RADAMBRASIL, 1986; Dantas et al., 2010).

O domínio da Depressão Central Gaúcha constitui-se numa área baixa, interplanáltica, onde os processos erosivos esculpiram formas residuais e em coxilhas sobre rochas sedimentares paleozóicas, triássicas e jurássicas da Bacia do Paraná. Este domínio é dividido em duas unidades geomorfológicas: 1) Depressão Rio Jacuí, que se caracteriza por apresentar um relevo sem grandes variações altimétricas, dando à paisagem um caráter monótono, onde dominam formas alongadas de topo convexo e no entorno vastas superfícies planas; e 2) Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro, que de forma geral apresenta-se dissecada em formas de topos convexos ou planos, por vezes amplos e alongados, cujas encostas caem suavemente em direção aos vales (RADAMBRASIL, 1986; Dantas et al., 2010).

Na Cuesta de Haedo ocorre a formação de relevo *cuestiforme*, com feições residuais em forma de mesetas, como o Cerro de Palomas e o Cerro do Caverá. A *cuesta* possui o *front* escarpado voltado para leste, em direção à Depressão do Rio Ibicuí (Dantas, et al., 2010).

O Planalto de Uruguiana apresenta relevo dissecado em colinas e morros, porém, em direção ao rio Uruguai exibe superfícies aplainadas ou modeladas em colinas muito amplas e suaves, conhecidas regionalmente por coxilhas. Por fim, o Planalto Dissecado do Rio Uruguai possui relevo de colinas e morros ordenados em longas cristas arredondadas que conferem um caráter dissecado a esse planalto à medida em que a rede de canais tributária se aproxima da calha do rio Uruguai. Os

desnivelamentos totais nas bacias de drenagem variam entre 60 e 150 m, podendo atingir até 200 m (RADAMBRASIL, 1986; Dantas et al., 2010).

Procedimentos Metodológicos

Para alcançar o objetivo proposto, inicialmente foi necessária a organização de um *grid* para o computo das classes de cobertura e uso da terra. Para tal, foi criada uma matriz vetorial com base no Sistema Cartográfico Nacional (Silva e Barreto, 2014), utilizando a nomenclatura de cartas do Brasil, em escala de 1:25.000 (de Oliveira Lopes e Simon, 2021; de Oliveira Lopes et al., 2023).

O *grid* na escala de interesse foi constituído por meio de um gerador de enquadramento sistemático, disponível no plugin “*GridZoneGenerator*” para instalação no software livre QGIS versão 2.18.17. Assim, para o recobrimento do Pampa foram utilizadas 1362 cartas, cada uma com 189 km² de abrangência.

O índice de coberturas e usos da terra (Bétard, 2017) foi estruturado a partir da quantificação da área ocupada por cada classe distinta de coberturas naturais e pelas diferentes formas de usos da terra. Além das dimensões espaciais, também foi considerado o nível de ameaça à geodiversidade oriunda de cada atividade, em cada quadricula. Tanto as práticas de natureza agrícola (por exemplo: pastoreio, cultivo de arroz e soja) como não agrícolas (por exemplo: urbanização e mineração) foram analisadas no índice de coberturas e usos da terra.

Para a identificação das classes de coberturas e usos da terra presentes no Pampa foram utilizados os dados produzidos e disponibilizados pelo projeto Mapbiomas². Foram utilizados os resultados dos mapeamentos disponibilizados na coleção 6, referente ao ano de 2020. A escolha dos dados do MapBiomas referentes ao ano de 2020 para este estudo se deu em virtude de ser o cenário temporal de disponibilidade mais recente dos dados cartográficos no momento em que a pesquisa foi concebida e realizada. Nesse sentido, foram avaliadas, quantificadas e sistematizadas as diferentes coberturas e usos da terra e as dimensões espaciais de cada classe em cada quadricula que forma o *grid* de recobrimento do Pampa.

A quantificação da área ocupada pelas classes de coberturas e usos da terra identificadas

² O Projeto Mapbiomas consiste em uma estratégia de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil, realizando o monitoramento das transformações

no território nacional por meio da ciência. O projeto é organizado e formado por uma rede colaborativa, formada por ONG's, universidades e *startups* de tecnologia (Mapbiomas, 2021).

em cada quadrícula foi viabilizada através da ferramenta “*Tabulate Area tool*” disponível no *software ArcGis* versão Pro (licença de estudante).

Essa ferramenta permite o cálculo de áreas cruzadas entre dois conjuntos de dados, que no caso do presente estudo, correspondem ao arquivo matricial no formato *.tiff* com a representação das classes de coberturas e usos da terra e o arquivo vetorial em formato *.shp*, referente ao conjunto de quadrículas de recobrimento. Assim, é possível realizar o cálculo de área ocupada (m²) por cada classe distinta de usos da terra em cada uma das quadrículas de recobrimento.

De posse da identificação e da quantificação das coberturas e usos da terra em cada quadrícula, se fez necessária também a compreensão do grau de ameaça que as atividades de uso da terra exercem no Pampa. Com base na hierarquia de graus de proteção e de ameaças que as coberturas e os usos da terra oferecem no contexto das fragilidades ambientais proposta por Ross (1994), foram atribuídos pesos às classes de cobertura e uso da terra identificadas no Pampa, conforme a categoria do grau de ameaça, MB-Muito Baixa (peso 1), B-Baixa (peso 2), M-Média (peso 3), A-Alta (peso 4) e MA-Muito Alta (peso 5).

A categoria “MB” abrange as seguintes classes de coberturas da terra: Afloramento Rochoso; Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Florestal; Praia e Duna; Rio, Lago e Oceano; Outras Áreas não vegetadas; e a classe de uso da terra, Aquicultura. Já a categoria “B” engloba a cobertura da terra Formação Campestre. Na categoria “M”, são encontradas as seguintes classes de usos da terra: Mosaico de Agricultura e Pastagem; Pastagem; e Silvicultura. Na categoria

“A” são compreendidas as seguintes classes de usos da terra: Arroz irrigado; Outras lavouras temporárias; e Soja. Por fim, a categoria “MA” abrange as classes: Infraestrutura Urbana; e Mineração.

Assim, de posse da extensão da área ocupada por cada classe, bem como do valor atribuído à intensidade da ameaça que a atividade exerce (Figura 2), foi realizada a ponderação considerando a área total ocupada por cada classe de usos e coberturas da terra multiplicada pelo valor atribuído pela classificação do grau de ameaça. O resultado da multiplicação foi então dividido pelo valor total da área das classes de coberturas e usos da terra, conforme evidencia a equação seguinte:

$$VQ = \frac{x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2 + x_3 \cdot p_3 + \dots + x_n \cdot p_n}{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}$$

Para a atribuição do valor da quadrícula (VQ), x representa a área (em m²) ocupada pela classe de cobertura ou uso da terra e p equivale ao peso atribuído à classe (oriundo do nível de ameaça que representa) conforme Ross (1994). A variação dos valores obtidos foi de 1 a 5, onde os valores mais altos foram atribuídos às atividades com maior nível de ameaças à geodiversidade aliadas à maior expressão espacial de ocupação na quadrícula.

A Figura 2 ilustra o esquema detalhado utilizado para quantificar as classes de coberturas e usos da terra em uma quadrícula, bem como o cálculo para obtenção do valor do índice de ameaças.

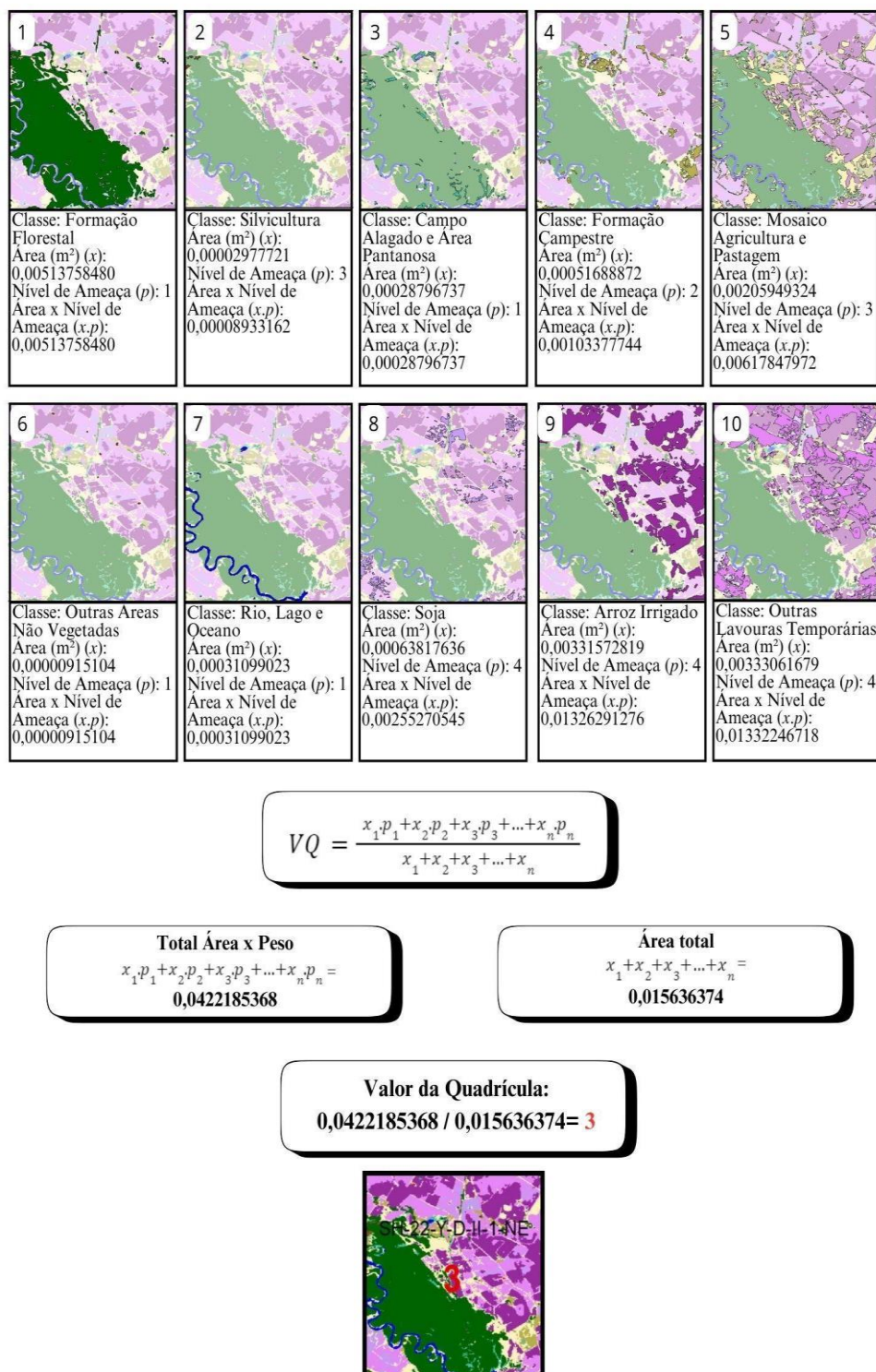


Figura 2: Esquema de quantificação das classes de coberturas e usos da terra por quadricula e cálculo para a obtenção do valor das ameaças para o índice Coberturas e Usos da Terra. Cada imagem representa as diferentes classes de coberturas e usos da terra identificadas por quadricula. Também são fornecidos os valores de área de cada classe (x), o valor atribuído a cada classe baseado no nível de ameaça à geodiversidade (p) e o produto da área ocupada pela classe e o peso atribuído.

Cabe mencionar a estratégia metodológica adotada para quadriculas situadas na borda da área de estudo, que se estende para além dos limites geográficos do Pampa. Para tais quadriculas a metodologia aplicada considerou somente a área

ocupada pelos pixels que estavam inseridos no limite do Pampa.

Por fim, foram realizados dois trabalhos de campo para validação do índice. A primeira campanha de campo percorreu cerca de 718 km (dias 29, 30 e 31/05/2021) no interior do Caçapava

Geoparque Mundial da *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO). O segundo campo abrangeu cerca de 2.275 km e abarcou a área da Planície Costeira do Rio Grande do Sul inserida no Bioma Pampa (realizado entre os dias 2 a 7 de março de 2022). Os trabalhos de campo tiveram a finalidade de validação dos dados quantificados, verificando sua eficácia por meio da análise visual e fotográfica utilizando drone³ (modelo DJI MAVIC 2 PRO e o App para obturar as imagens DJI Go 4).

Resultados e discussões

As Características Espaciais das Coberturas e dos Usos da Terra no Bioma Pampa

O mapeamento das coberturas e usos da terra no bioma Pampa brasileiro revelou as principais formas de ocupação do espaço e de apropriação dos recursos naturais, bem como a identificação dos locais com maior recobrimento por coberturas naturais. Assim, foram identificadas as seguintes classes: Formação Florestal, Formação Natural Não Florestal, Agropecuária, Outras Áreas Não Vegetadas e os Corpos d' Água (Figura 3).

A classe **Formação Florestal** foi identificada em 12,10% (4.998.772,17 km²) do

território do Pampa. Encontra-se associada aos principais cursos fluviais em forma de mata ciliar e às áreas de relevo com altitudes elevadas do Escudo-sul-riograndense que apresentam florestas de encosta e de galeria (Figura 3). Cabe destacar a relevância das coberturas florestais em áreas de nascentes e de recarga de importantes bacias hidrográficas do Bioma Pampa, como as bacias dos rios Camaquã, Piratini e as nascentes da margem direita do Rio Jacuí, principal contribuinte do Lago Guaíba e do sistema hidrográfico da Lagoa dos Patos. Entretanto, em abril de 2024 o Governo do Estado do Rio Grande do Sul sancionou o Projeto de Lei 151/2023, que permite intervenções em Áreas de Proteção Permanente (APP's) para a realização de obras para construção de reservatórios de água em canais fluviais, para atendimento de atividades particulares de agricultores. Tal situação implica no regime hídrico das bacias hidrográficas e na manutenção das áreas úmidas do Bioma Pampa, sobretudo em períodos de escassez de água, como os verificados entre 2020 e 2023, durante episódio prolongado do fenômeno La Niña no Rio Grande do Sul. Em conformidade com Hasenack et al. (2010) a vegetação das formações florestais corresponde, no sistema fitoecológico brasileiro, à Floresta Estacional Semidecidual.

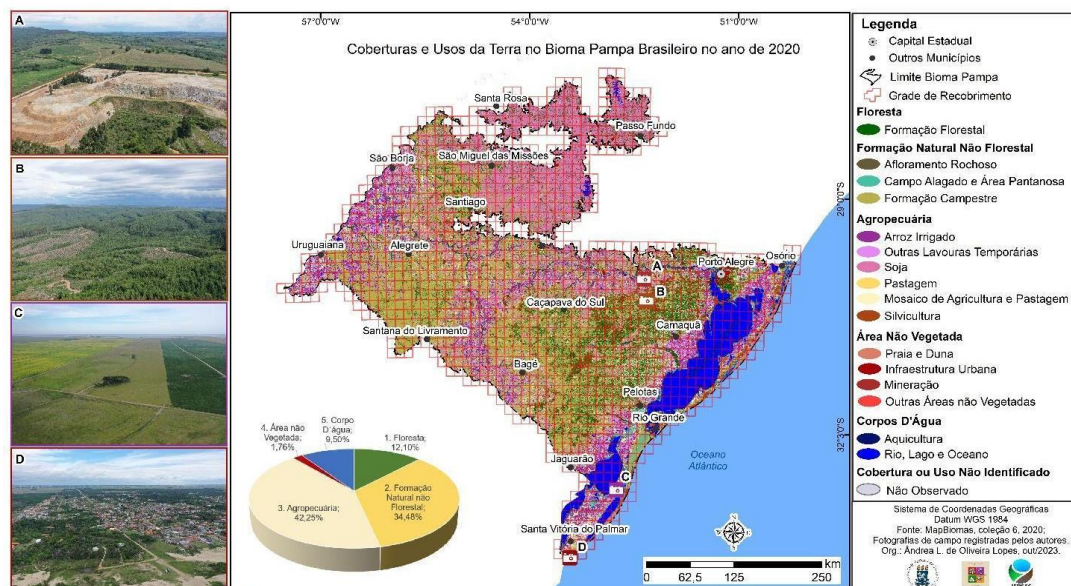


Figura 3: Mapa das coberturas e usos da terra no bioma Pampa brasileiro. Fotografias: A) Área de mineração no município de Pântano Grande/RS; B) Ocupação por Silvicultura no município de Dom Feliciano/RS; C) Mosaico de agricultura, soja, arroz irrigado e pecuária em Santa Vitória do Palmar/RS; D) Avanço da urbanização sobre superfícies arenosas como dunas e faixa de praia no Balneário do Chuí, Santa Vitória do Palmar/RS. Fonte: Classes de coberturas e usos da terra MapBiomas, 2020; fotografias de campo obtidas pelos autores.

³ Equipamento cedido pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG/RS).

A classe **Formação Natural Não Florestal** abarca as áreas de Afloramento Rochoso, Campo Alagado e a Formação Campestre, que juntas ocupam cerca de 34,58% (509664,85 km²) da área do bioma Pampa. As áreas de Afloramento Rochoso estão concentradas principalmente nos municípios assentados sobre a porção ocidental do Escudo Sul-rio-grandense, como Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Bagé e Santana da Boa Vista. Nesta região, verifica-se elevada associação paisagística dos afloramentos rochosos com os elementos da geodiversidade, vinculada a grande variedade de rochas metamórficas, tais como xistos, quartzitos, filitos, anfibolitos, gnaisses e mármore em estruturas deformadas e intrudidas por corpos graníticos, recobertas por formações sedimentares antigas e rochas vulcânicas de diversas composições e idades (Preciozzi et al., 1993; de Borba et al., 2013). Na região do Escudo Sul-rio-grandense, sobretudo no território do Caçapava Geoparque Mundial UNESCO, se distribuem importantes superfícies de afloramentos rochosos que formam o Geossítio Guaritas, caracterizado por um conjunto de formas do relevo ruiforme desenvolvidos sobre formações sedimentares do Grupo Guaritas, na Bacia do Camaquã (de Borba e Guadagnin, 2022).

As áreas de Campo Alagado ou Área Pantanosa estão inseridas majoritariamente nas porções do bioma Pampa localizadas na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, associadas, sobretudo, com os corpos lagunares do sistema Patos-Mirim e com o rosário de lagoas do litoral norte gaúcho (Figura 3). Essas formações alagadiças são denominadas regionalmente de banhados e têm um papel importante na proteção contra a erosão da costa lagunar, na regulação do ciclo hidrológico, na melhoria da qualidade da água, na promoção da recreação e do turismo, entre outros benefícios. Além disso, as áreas úmidas costeiras são habitats importantes para diversas espécies de fauna e flora, incluindo espécies migratórias (Burger, 2000; Becker, e de Azevedo Moura, 2007).

Destacam-se os banhados do Taim (protegido por uma Estação Ecológica de 32.806,31 hectares, criada no ano de 1986 e designada como sítio Ramsar no ano de 2017) (da Costa e Sato, 2021); as amplas áreas de planície flúvio-lacustres marginais ao Canal São Gonçalo (única conexão da Lagoa Mirim com a Lagoa dos Patos), que ocupam uma extensão de cerca de 790,91 km² e se encontram ameaçadas por práticas do agropastoris e urbanas (Simon e Silva, 2015) e uma extensa área de banhados e campos litorâneos dispostos alternadamente sob a forma de longas e estreitas faixas paralelas (cordões arenosos),

comprimida entre a costa atlântica e as barreiras de idade pleistocênica, que conecta o banhado do Taim ao sul do estuário da Lagoa dos Patos, onde está localizada a cidade de Rio Grande (Figura 3). O avanço da silvicultura e a implantação de parques eólicos se configuram como as principais ameaças à geodiversidade nessa área.

As áreas campestres desempenham um papel fundamental no bioma Pampa, contribuindo significativamente para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos da região (Andrade, et al., 2023). De acordo com a Figura 3, as superfícies de Formação Campestre estão organizadas principalmente na região da Campanha Oeste, nos municípios de Santana do Livramento, Quaraí, Rosário do Sul e Alegrete (Figuras 1 e 3). Essa porção é reconhecida pela alta riqueza de espécies. Todavia, os solos são rasos e de difícil mecanização, explicando o porquê da ausência de práticas agrícolas no local.

Os resultados oriundos do mapeamento de coberturas e usos da terra no bioma Pampa (Mapbiomas, 2020) revelam o predomínio de práticas de ocupação voltadas para as atividades agrícolas, visto que a classe **Agropecuária** ocupa 42,25% (2766069,67 km²) desse território (Figura 3). Essa classe abarca atividades como Agricultura (compreendendo o plantio de culturas temporárias como o arroz irrigado, a soja, e as áreas destinadas ao cultivo de outras culturas temporárias), Pastagem, Silvicultura (Figura 3B) e Mosaico de Agricultura e Pastagem (Figura 3C).

As áreas utilizadas para o plantio do arroz irrigado estão inseridas, principalmente, nas porções de relevo rebaixado, como na região da fronteira oeste, abrangendo os municípios de Barra do Quaraí, Uruguaiiana, Itaqui, Maçambará e São Borja. Nesta porção, são comuns os solos de baixa aptidão agrícola, em função das características de má drenagem e textura argilosa, podendo manter sua superfície com água, a depender das condições climáticas (dos Santos et al., 2018). A textura plástica dos solos dificulta a percolação por raízes, sendo usados para o plantio do arroz irrigado (Becker, 2008).

O arroz irrigado também é a matriz produtiva nos municípios da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, desde o extremo sul em Santa Vitória do Palmar, Rio Grande, Jaguarão e Arroio Grande, se estendendo para os municípios da porção da Planície Costeira Interna, desde Capão do Leão até Barra do Ribeiro. Isso se deve às características da geodiversidade dessas áreas, como solos mal drenados, relevo plano e abundância hídrica.

O arroz está presente também na Depressão Central, no entorno dos principais

cursos fluviais das bacias hidrográficas do rio Jacuí e do rio Ibicuí, geralmente organizadas nas planícies de inundação (como estratégia para as práticas de irrigação), adjacentes às áreas de mata ciliar.

As lavouras de arroz irrigado contribuem para significativas alterações na hidrografia e nas formas do relevo. As canchas de cultivo são organizadas em terraços agrícolas, delimitados por curvas de nível, a fim de manter a reserva de água em seu interior. Isso altera o escoamento superficial e subsuperficial das áreas onde esse cultivo se estabelece, provocando alterações na hidrodinâmica das bacias hidrográficas (Oliveira Lopes et al., 2016; de Oliveira Lopes et al., 2017; Simon et al., 2017). A água utilizada para a prática do arroz irrigado é oriunda de corpos d'água artificiais e naturais (estes últimos, sobretudo nas lavouras situadas na região central e na Planície Costeira do Rio Grande do Sul). A água disponibilizada para as canchas de cultivo de arroz geralmente depende de um complexo sistema antropogênico de canais de drenagem artificiais, diques marginais e casas de bomba, necessários para conduzir e manter o nível da água nas lavouras (Simon e Silva, 2015).

Pastagem, Outras Culturas Temporárias e Mosaico Agricultura e Pastagem (Figura 3C) estão espacialmente associadas às áreas de plantio do arroz irrigado na área em estudo (Figura 3). De acordo com Hasenack (2017), o arroz irrigado, dentre as culturas anuais temporárias, talvez seja a que melhor convive com o campo nativo, pois historicamente o sistema de produção alterna as lavouras com a pecuária. O arroz é cultivado em uma parcela da propriedade, e o restante da área permanece em pousio, possibilitando a regeneração do campo nativo, que é destinado à criação de gado (Hasenack, 2017).

As áreas destinadas à plantação de soja foram identificadas principalmente na porção norte e noroeste do Pampa, nos campos do Planalto Médio e Planalto das Missões, se estendendo pelos municípios de Palmeira das Missões e Carazinho, assim como também nos municípios inseridos na zona de transição geomorfológica da Depressão Central e os Planaltos, como São Francisco de Assis, Unistalda e Santiago. Nessa porção predominam os cultivos de sequeiros (técnica agrícola para cultivo em áreas onde o regime de chuvas é escasso ou irregular durante o ano, aliado às superfícies com maior drenagem) em função da característica dos solos, bem drenados e profundos (Hasenack, 2017). Nessa região do Pampa a produção de soja se consolidou como atividade predominante ao longo das últimas décadas,

culminando na expansão da atividade por todo o entorno.

O avanço da soja no Bioma Pampa tem causado a conversão de áreas de pastagem em terras agrícolas, pressionando a paisagem e a vida pastoril pela demanda de terras para o cultivo desta commodity. Isso gera mudanças na estrutura produtiva com novas práticas agrícolas e tecnologias, e impactos aos pequenos e médios pecuaristas devido aos crescentes custos associados à pecuária extensiva (Monteblanco e de David, 2022)

As áreas destinadas à Silvicultura ocorrem sobretudo no Escudo-sul-riograndense, nas bordas de transição com a Depressão do Rio Jacuí, abrangendo desde os municípios de Eldorado do Sul e Guaíba, e se estendendo para as porções mais elevadas, desde os municípios de Butiá e Pântano Grande, até Encruzilhada do Sul e Piratini. Nessa porção as áreas de silvicultura estão organizadas de forma contígua às áreas de Formação Florestal e Formação Campestre naturais do Planalto Sul-riograndense. Em conformidade com Hasenack (2017), até a década de 1970 a silvicultura tinha pouca expressividade no Pampa, contudo em 1972, a instalação da primeira indústria de celulose no estado impulsionou a silvicultura do eucalipto.

Em setembro de 2023 o Conselho Estadual do Meio Ambiente (Consema), aprovou o novo Zoneamento Ambiental da Silvicultura no estado do Rio Grande do Sul. O documento possibilita a ampliação das áreas destinadas ao plantio de espécies exóticas em até 4 vezes (cerca de 40 mil km²). Sem o manejo adequado, a silvicultura é uma atividade com potencial poluidor médio, segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81) (Sul21, 2023). A silvicultura oculta importantes elementos da geodiversidade com potencial valor geopatrimonial (de Borba et al., 2013), além de contribuir para alterações na dinâmica hídrica e pedológica.

As **Áreas Não vegetadas** ocupam cerca de 1,76% (61015,49 km²) do Pampa e se manifestam por meio das coberturas arenosas, classificadas como Praias, Dunas e Areais. Também englobam usos voltados para a Mineração (Figura 4), Infraestrutura Urbana (Figura 3D) e a classe Outras Áreas não Vegetadas.

As áreas de Praia, Duna e Areal foram identificadas principalmente na porção costeira do Pampa, abarcando as áreas de faixa de praia (marinha e lagunar) e áreas de campos de dunas (Figura 3). Cabe destacar que a classe Outras Áreas não Vegetadas acabou englobando também algumas porções arenosas, como cordões arenosos costeiros e em alguns casos, dunas costeiras recobertas por vegetação. Nessa classe também

estão inseridos os areais do sudoeste Pampeano, nos municípios de Alegrete, Manoel Viana, São Francisco de Assis e Maçambará, entre outros, onde ocorre o processo de arenização (Binda e Verдум, 2015). Os areais são constituídos por Neossolos Quartzarênicos Órticos, ou seja, solos arenosos, altamente sujeitos à erosão e constituem uma herança de climas mais secos do que o atual, fornecendo evidências paleoclimáticas importantes para a compreensão da evolução da paisagem (Gomes et al., 2022).

As áreas destinadas à mineração (Figuras 3A e 4) foram identificadas nos municípios de Minas do Leão e Butiá na porção norte do Pampa, bem como em Caçapava do Sul e Candiota. Diante

do fato dos resultados terem identificado a atividade de mineração em pequenas áreas do Pampa (Figura 4) enfatiza-se a possível subestimação da atividade. Isto pode ter ocorrido em função da escala de mapeamento e das características de ocupação geográfica da atividade minerária, que de forma geral são organizadas em escala locacional, em pequenos espaços, porém com intervenções ambientais incisivas e profundamente impactantes. Além disso, atividades de mineração direta em cursos fluviais, como a extração de areia (Figura 4B), não são passíveis de identificação por meio do mapeamento de usos da terra.

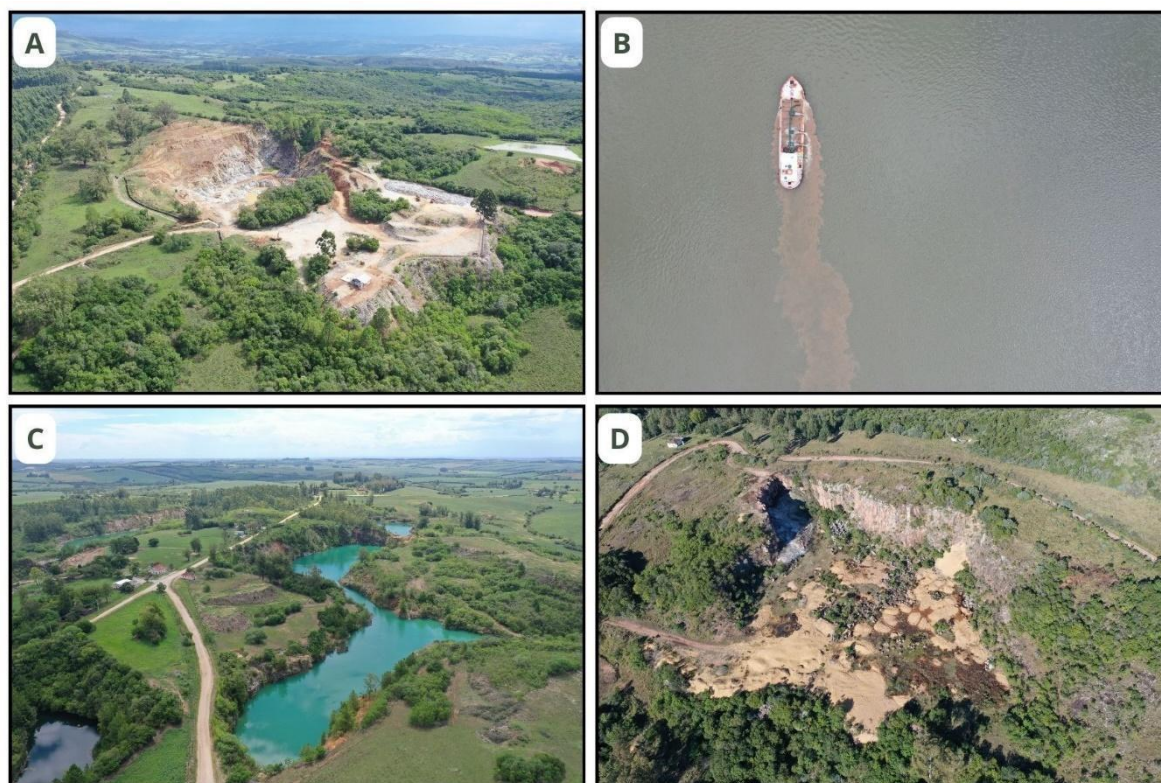


Figura 4: Mosaico de fotografias de campo de áreas de mineração no bioma Pampa. A) Mineração ativa em Dom Feliciano/RS; B) Embarcação para atividade de mineração de areia no Rio Jacuí em Rio Pardo/RS; C) Lago artificial de mineração em Pantano Grande/RS; D) Mineração abandonada em processo de regeneração em Caçapava do Sul/RS. Fonte: Registros obtidos pelos autores.

A infraestrutura urbana na área de estudo se apresenta de forma mais representativa na região nordeste do Pampa, abrangendo a capital gaúcha, Porto Alegre e sua região metropolitana, (organizada no entorno do Lago Guaíba). Os usos urbanos também se prolongam para a direção norte do bioma, na zona de transição entre a Depressão do Rio Jacuí e a Escarpa da Serra Geral, já inserida nos domínios do bioma Mata Atlântica.

A classe **Corpos d' Água** foi identificada em 9,5% (170924,56 km²) da área de estudo.

Abarca feições naturais como rios, lagos e lagoas, além de elementos artificiais como represas e reservatórios. Destacam-se a Lagoa dos Patos (10.000 km²), a Lagoa Mirim (3.749 km²) e a Lagoa Mangueira (800 km²), localizadas na porção centro-sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Trata-se do maior sistema lagunar do território brasileiro, que apresenta uma dinâmica hidrológica muito singular, uma vez que as lagoas dos Patos e Mirim são responsáveis pelo escoamento de um sistema hidrográfico que abrange uma área com

cerca de 180.000 km², englobando 54% do território gaúcho e 16% do território uruguaio. A única desembocadura desse mega-sistema hidrográfico no Oceano Atlântico ocorre através do Canal da Barra do Rio Grande, localizado no município homônimo.

Na porção norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul ocorre ainda o sistema de rosário de lagoas⁴. Em função das características morfogenéticas da Planície Costeira os sistemas de lagoas costeiras se configuram como importantes evidências científicas da gênese e da morfodinâmica dos sistemas fluviais, lagunar e marinho que sustentam as particularidades da paisagem costeira no Pampa.

Os reservatórios artificiais e represas foram identificados em associação com as práticas de uso agrícola, sobretudo com os cultivos que demandam irrigação e, em alguns casos, para o abastecimento urbano.

O Índice de Ameaças à Geodiversidade

A Figura 5 evidencia o predomínio de médias a altas ameaças à geodiversidade no bioma Pampa, oriundas das práticas de usos da terra, visto que. Juntas, as classes de Média, Alta e Muito Alta ameaças abrangeram 76,5% do total das cartas de recobrimento da área em estudo, estando distribuídas em todas as regiões do recorte espacial em análise, associadas principalmente às atividades agrícolas.

Das 1362 cartas de recobrimento do Pampa, 43 delas (3,16%) obtiveram valores Muito Baixos de ameaça à geodiversidade, e 277 das cartas (20,34%), foram categorizadas na classe Baixa ameaça. Foram identificadas 666 cartas (48,90%) com valor referente à Média ameaça à geodiversidade. A classe Alta ameaça foi identificada em 375 cartas (27,53%) de recobrimento da área de estudo. Por fim, apenas 1 carta na classe Muito Alta ameaça, correspondendo a 0,07% do total de cartas do índice (Figura 5).

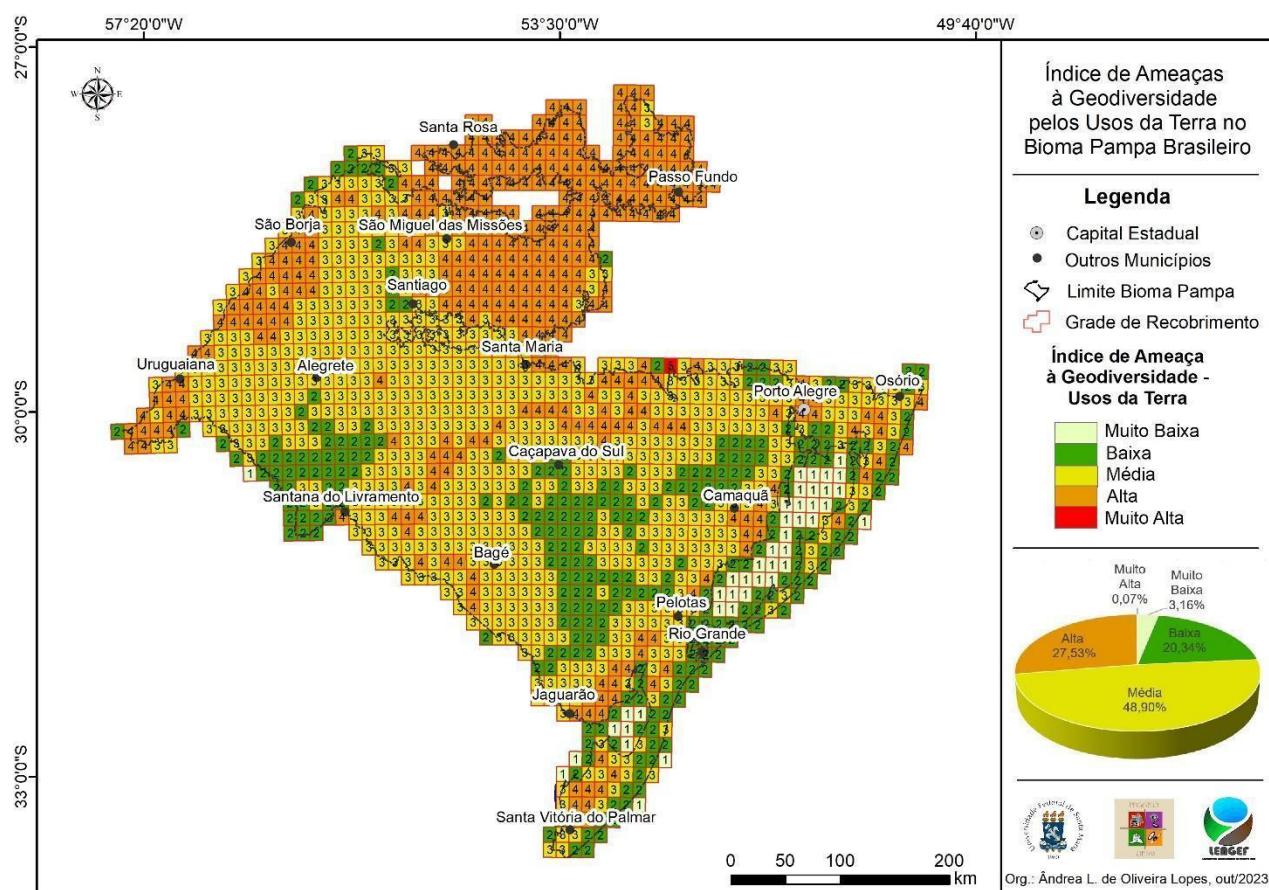


Figura 5: Mapa do índice de ameaças à geodiversidade pelo uso da terra no bioma Pampa..

⁴ Mosaico de lagoas costeiras, inseridas entre a Laguna dos Patos e o oceano Atlântico, no litoral norte do Rio

Grande do Sul, com gênese, cronologia, estrutura morfológica e características ecológicas diferentes (Schafer, 1992).

A quadrícula inserida na classe Muito Alta ameaça (Figura 5) está localizada em área de borda do bioma Pampa, tendo seu recobrimento parcialmente inserido na área de estudo. Essa porção encontra-se em ambiente ecótono, entre o Pampa e a Mata Atlântica, sendo também zona de transição entre dos domínios geomorfológicos gaúchos: a Depressão Central e o Planalto da Serra Geral. Essa quadrícula obteve valor compatível com a classe Muito Alta ameaça em função dos usos voltados para a infraestrutura urbana e o plantio de culturas temporárias (soja).

O elevado valor do índice de ameaça nessa quadrícula de borda pode ser atribuído à predominância de classes de uso da terra com potencial significativo de impactos ambientais. Importante ressaltar que essa elevação no índice não necessariamente reflete a totalidade da quadrícula, mas sim a parcela inserida no Pampa.

Esta observação destaca a necessidade de uma análise mais refinada e específica ao avaliar o índice de ameaça em quadrículas de borda. É crucial reconhecer que, apesar de os valores serem elevados, eles são indicativos da intensidade de uso em uma fração específica da quadrícula.

As quadrículas classificadas na categoria de Alta ameaça (Figura 5) estão organizadas basicamente em quatro porções do Pampa:

(1) na fronteira oeste, abarcando municípios como Itaqui e São Borja, onde o principal vetor de ameaça foi o cultivo do arroz irrigado;

(2) na região costeira, principalmente nas áreas adjacentes ao conjunto de lagoas costeiras (Lagoas Mirim, Mangueira, Patos, Casamento e Capivari) ou na planície de inundação de cursos fluviais, onde a ameaça identificada foi o cultivo do arroz irrigado, prática econômica histórica na região, justificada pelo aproveitamento das características da geodiversidade local, como o relevo plano, solos mal drenados e a disponibilidade de água;

(3) na porção norte do Bioma Pampa, se estendendo até a Depressão Central, onde os vetores de ameaças estão vinculados às classes de cultivos agrícolas (arroz irrigado e soja), principalmente nas áreas planas associadas aos cursos fluviais das bacias do Jacuí e Santa Maria;

(4) nos domínios da região metropolitana de Porto Alegre, sendo a urbanização a principal ameaça identificada nessas quadrículas. Cabe destacar que esta é a porção com maior densidade populacional e concentração de atividades industriais do estado do Rio Grande do Sul. Nessa região, a ocupação das áreas de várzea para onde confluem os principais afluentes do Lago Guaíba (rios Jacuí, Taquari, caí, dos Sinos e Gravataí), vêm

confinando a dinâmica hidrológica das planícies de inundação, trazendo sérias ameaças aos serviços de regulação dos elementos da geodiversidade e colocando em risco vidas e estruturas fundamentais para o funcionamento de importantes cidades do estado do Rio Grande do Sul. As enchentes de 2023 e a maior catástrofe ambiental enfrentada no Rio Grande do Sul, em maio de 2024 reiteraram a importância de considerar os elementos e a dinâmica da geodiversidade no ordenamento territorial e nas ações de planejamento ambiental. Essa orientação é ainda mais imperativa em um cenário de mudanças climáticas, onde as práticas humanas e os usos da terra derivados precisam ser planejados e reorientados.

Na grande área onde predominam valores de ameaça Alta na porção norte do Bioma Pampa (regiões de Passo Fundo, Santa Rosa e Cruz Alta) estão localizadas as maiores áreas de produção de soja do território gaúcho. Nestas áreas predominam latossolos, bem drenados e profundos, derivados predominantemente de rochas basálticas da Bacia Sedimentar do Paraná.

As áreas identificadas na categoria de Média ameaça (Figura 5) estão inseridas principalmente na região central do Pampa, onde as matrizes das ameaças foram os cultivos de soja e arroz irrigado no centro-oeste, e a silvicultura, sobretudo nas porções do Escudo Sul-riograndense, se estendendo para a área de transição com a Depressão Central e a Planície Costeira. Todavia, essas porções também são recobertas por extensões de formação campestre (vegetação nativa típica do Pampa). Essa configuração de ocupação adjacente por classes de coberturas da terra resultou em níveis de Médias ameaças, que demandam monitoramento, pois tais núcleos de evolução de silvicultura e soja podem resultar em fragmentação e remoção de importantes áreas nativas de formações campestres.

As porções inseridas na classe de Baixa ameaça à geodiversidade ocorrem na região da Serra do Sudeste, sob abrangência do Escudo-sul-riograndense, onde as formações florestais compartilham espaços com as formações campestres, sendo reconhecidas como as áreas com maior concentração de vegetação florestal do Pampa (Hasenack, 2017). Englobam considerável porção do território do Geoparque Caçapava Mundial UNESCO, sobretudo os locais onde se situam geossítios icônicos como as Guaritas e Minas do Camaquã, o Rio Camaquã e o Cerro da Angélica.

Também foi classificada como Baixa ameaça à geodiversidade a porção inserida na região geomorfológica da Cuesta de Haedo (município de Santana do Livramento, região da

campanha gaúcha), em área de intersecção espacial com os limites da APA do Ibirapuitã, a maior unidade de conservação do estado em termos dimensionais. Essa unidade de conservação foi criada com objetivo de proteção dos remanescentes de mata aluvial e dos recursos hídricos da bacia do rio Ibirapuitã (BRASIL, 1992) e é gerida pela esfera federal.

As unidades de conservação representam importantes espaços de proteção da geodiversidade e da biodiversidade associada perante os avanços das ameaças dos usos da terra. Entretanto, segundo Lopes e Simon (2020) e Lopes et al. (2021), o Bioma Pampa, possui um dos menores graus de proteção, com cerca de 0,4% de sua área de abrangência protegida por unidades de conservação. De acordo com os autores citados, a fragilidade na conservação da natureza é evidenciada pela falta de regularização fundiária e planos de manejo em muitas unidades de conservação estaduais, que são o principal sistema de conservação do Pampa. Isso resulta em unidades de conservação que existem apenas em listas e documentos oficiais, mas que nunca foram regularizadas, tornando o Sistema Estadual de Unidades de Conservação do Rio Grande do Sul o líder nesse aspecto. Além disso, a distribuição espacial das áreas protegidas ainda é desigual no território do estado, deixando paisagens singulares e fenômenos de relevância ambiental e antropológica desprotegidos no Bioma Pampa.

Kubalíková e Balková (2023) destacam que a geodiversidade pode ser ameaçada mesmo quando protegida legalmente devido a uma série de fatores. A falta de implementação efetiva das leis de proteção e a falta de fiscalização adequada podem permitir atividades impactantes. Além disso, conflitos de interesse entre a conservação da natureza e atividades econômicas como mineração, construção ou desenvolvimento urbano podem surgir. A falta de conscientização sobre a importância da geodiversidade pode levar a práticas prejudiciais por parte da comunidade local ou de visitantes. As mudanças climáticas também representam uma ameaça, afetando diretamente a geodiversidade e causando processos erosivos acelerados, alterações nos padrões hidrológicos e outros impactos que comprometem a integridade dos elementos da geodiversidade sob proteção. O aumento do turismo em áreas protegidas também pode resultar em pressão turística, causando impactos negativos como pisoteio excessivo, poluição, vandalismo e perturbação dos ecossistemas.

As áreas classificadas como Muito Baixa ameaça à geodiversidade estão associadas espacialmente ao sistema de lagoas costeiras Patos-

Mirim (Figura 5). No entanto, no ano de 2021 o governo estadual gaúcho tornou público o processo de concessão da Lagoa dos Patos para a instalação de parques eólicos (Brasil de Fato, 2022). Este processo vem desconsiderando os impactos socioambientais negativos consequentes desse tipo de empreendimento em sistemas lacustres ultra recentes e de extrema importância para a manutenção de processos ecológicos, como do sistema hidrográfico e estuarino, o fluxo de aves migratórias e a pesca artesanal (Ministério do Meio Ambiente [MMA], 2007). Além disso, parques eólicos ocasionam a perda da beleza cênica (poluição visual) (Katsaprakakis, 2012; Siefert e Santos, 2016; Ribeiro et al., 2021), a redução da balneabilidade (impactando atividades como o turismo) e do aproveitamento econômico da Lagoa dos Patos pelas comunidades tradicionais que residem na em seu entorno. Sobre esta última questão, de Andrade Evangelista et al. (2022) destacam que as comunidades tradicionais de pesca artesanal na Lagoa dos Patos são afetadas pelo projeto de instalação de parques eólicos a partir de possíveis restrições de acesso aos territórios tradicionais, causando conflitos e expulsão; de problemas ambientais como a privatização do bem comum, afetando diretamente o modo de vida local e de conflitos e injustiças ambientais, confrontando os modos de vida das comunidades.

Apesar de não ser uma ameaça inserida diretamente nas quadrículas que abrangem as principais lagoas costeiras do estado do Rio Grande do Sul, as lavouras irrigadas marginais a estes grandes corpos hídricos, sobretudo o arroz, também precisam ser consideradas na avaliação deste índice de ameaças. A análise da Figura 5 permite verificar a ocorrência de quadrículas com valores de ameaça Alta nas porções marginais à Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim. Nestas áreas se situam municípios que se destacam historicamente como grandes produtores de arroz irrigado, como Camaquã, Jaguarão, Arroio Grande e Santa Vitória do Palmar. Os corpos lagunares e seus principais afluentes (rios Camaquã, Piratini e Jaguarão) são os principais locais de captação de água para a irrigação das lavouras. Durante o último episódio do fenômeno La Niña, que ocorreu de forma intensa entre os anos de 2020 e 2023 no estado do Rio Grande do Sul, a demanda de água dos recursos hídricos costeiros lagunares para irrigação de áreas agrícolas foi elevada. Tal situação acaba por gerar conflitos com os serviços de suporte aos ecossistemas aquáticos (lagunares e fluviais) e terrestres (áreas úmidas que têm uma redução

expressiva dos níveis de água superficial e subsuperficial).

Os resultados obtidos a partir da avaliação do índice de ameaças à geodiversidade decorrentes dos usos da terra, combinados com os dados dos subíndices de mineração e da presença de unidades de conservação, podem proporcionar uma compreensão aprofundada das regiões mais impactadas pelas atividades antrópicas no bioma Pampa. Ao integrar esses dados ao índice de geodiversidade, torna-se possível identificar as áreas prioritárias para estratégias de

Conclusões

O presente estudo propôs, de forma pioneira, uma forma de avaliar as ameaças dos usos da terra à geodiversidade no bioma Pampa brasileiro. Os resultados derivados da metodologia desenvolvida revelaram as áreas em que os usos da terra representam altos níveis de ameaças aos elementos abióticos, que ao serem cruzadas com o índice de geodiversidade contribuirão para a identificação de *hotspots* de geodiversidade no Pampa. Tais informações fornecem uma base científica de cunho geográfico com potencial relevância para a gestão territorial e para conservação da geodiversidade e biodiversidade deste bioma.

A metodologia desenvolvida possibilitou avaliar a intensidade dos usos e coberturas da terra com base na hierarquia de graus de proteção e de ameaças que os mesmos oferecem no contexto das fragilidades ambientais. Além do mais, a metodologia possibilita um monitoramento constante das ameaças derivadas do uso da terra, uma vez que se utiliza de dados *open access* do Projeto MapBiomias.

O índice de ameaças derivadas do uso da terra evidenciou o predomínio de graus de ameaça média no bioma Pampa. Tal conjuntura indica alerta para a expansão de usos da terra, sobretudo a partir da mecanização das práticas agrícolas e das áreas de silvicultura sobre as associações de formações campestres e florestais que caracterizam as paisagens e os ecossistemas deste bioma. O monitoramento e a não-flexibilização das leis ambientais nesse espaço se fazem necessária para evitar a evolução do grau de ameaças nesses espaços que resguardam importante riqueza da geodiversidade e da biodiversidade.

Locais com graus de ameaça alto se impõem de forma grave sobre importantes sistemas responsáveis pela regulação hídrica do estado do Rio Grande do Sul e do bioma Pampa. Porções do vale do Rio Jacuí, no centro do estado, do Delta do Rio Jacuí, na Região metropolitana de Porto

geoconservação, como a criação de unidades de conservação integradas.

Estas unidades são delineadas não apenas com base nas características da geodiversidade, mas também considerando a biodiversidade, especialmente em regiões onde as ameaças são mais elevadas. Assim, esta abordagem holística não só identifica *hotspots* de geodiversidade, mas também sugere diretrizes eficazes para a preservação da diversidade biológica dos biomas em um contexto de crescente antropização auxiliando de forma eficaz para a gestão do território.

Alegre, e das planícies lacustres das lagoas Mirim e dos Patos estão sob forte pressão de processos históricos de expansão de áreas agrícolas e também de áreas urbanas. As áreas urbanas comprimem importantes espaços de circulação e acomodação do escoamento superficial e subsuperficial, levando a perdas de ordem econômica e também social, ao colocar em risco populações que habitam esses locais. No norte do bioma Pampa, as regiões produtoras de *commodities* inseridas em áreas de alta ameaça à geodiversidade devem ter um monitoramento das pressões e impactos sobre áreas de nascentes e planícies de inundação de canais fluviais.

A ampliação de unidades de conservação em um bioma tão heterogêneo em termos de paisagens como o Pampa é urgente. As UC's tem papel importante na organização espacial de graus baixos de ameaças à geodiversidade, mas se estabelecem de forma rarefeita no bioma em questão. Assim, é recomendável que este estudo seja levado em consideração para a definição de novas áreas protegidas, considerando não apenas a biodiversidade, mas também a geodiversidade.

As superfícies com muito baixo grau de ameaça à geodiversidade no bioma Pampa são, na atualidade, aquelas que se encontram sob as maiores ameaças potenciais. O sistema lagunar Patos-Mirim representa a maior reserva de água do estado do Rio Grande do Sul, sendo palco de projetos para captação de água para irrigação agrícola e abastecimento rural, hidrovias e geração de energia eólica. Importantes cidades do estado (Porto Alegre, Pelotas e Rio Grande) se situam nos domínios da dinâmica destes corpos lagunares e seus afluentes, sendo que muitos planos de expansão urbana se fazem de forma incoerente com os espaços das áreas úmidas, dos principais canais de drenagem e das faixas de praia lagunar deste sistema, podendo acarretar em ampliação dos graus de ameaça à geodiversidade e riscos às populações, sobretudo em um momento de mudanças climáticas com efeitos drásticos sobre esse sistema

lagunar, que recebe todo o escoamento das bacias hidrográficas de parte do Rio Grande do Sul e do Uruguai.

Algumas questões precisam ser destacadas no que se refere à escala das informações adotadas para o desenvolvimento e aplicação da metodologia proposta: 1) foi observado que os usos da terra com alto grau de ameaça à geodiversidade, como mineração e urbanização, podem ser subestimados em função da extensão de área total ocupada pela atividade em uma determinada quadricula. Nesse sentido, a avaliação individual dessas atividades em subíndices independentes pode ser uma estratégia de equalização dos dados e de obtenção de resultados mais coerentes; 2) as parcelas ocupadas pela silvicultura, quando organizadas de forma contígua às superfícies de formação campestre ou florestal, parecem atenuar o nível de ameaça à geodiversidade. Esse achado sugere a necessidade do aprimoramento da metodologia de avaliação para capturar adequadamente o nível dos impactos potenciais da silvicultura em áreas como os biomas.

A metodologia aqui exposta pode ser aprimorada também a partir da inclusão de mais variáveis ou o refinamento das métricas usadas, podendo resultar em índices mais precisos e sensíveis às particularidades do Pampa brasileiro. Assim, é importante ressaltar que o nível de ameaça definido para cada classe de cobertura ou uso da terra não é um parâmetro fixo. Deve ser revisado e adaptado de acordo com as particularidades do recorte espacial de aplicação. A flexibilidade na definição desses níveis levará a resultados mais precisos e contextualmente relevantes.

Além disso, o índice de usos da terra não deve ser considerado isoladamente. É fundamental avaliá-lo em conjunto com outros critérios, como a existência de áreas protegidas, atividades de mineração e outras formas de ameaças espacialmente identificáveis, de acordo com as características da área de estudo. Essa abordagem abrangente permitirá uma avaliação mais completa das ameaças à geodiversidade, seguindo os parâmetros definidos por Bétard (2017).

Sugere-se que futuras pesquisas explorem a adaptação da metodologia incorporando a análise da evolução dos padrões de ocupação do espaço, incluindo múltiplos cenários temporais de mapeamento, e identificando as matrizes de transição que protagonizaram as mudanças mais significativas na ocupação do espaço ao longo do tempo. Tais avanços são plenamente executáveis a partir dos dados espaciais temporais disponibilizados pelo MapBiomas.

A avaliação das ameaças à geodiversidade com base no uso da terra pode ser replicada em diferentes contextos ambientais e recortes espaciais. A mesma metodologia pode ser adaptada para outros biomas e regiões, permitindo uma comparação ampla e contribuindo para um entendimento global das ameaças à geodiversidade no território nacional. Finalmente, vale destacar que o índice de ameaças à geodiversidade pode orientar políticas de conservação e planejamento territorial, ajudando a identificar áreas críticas que exigem atenção especial. Também pode servir como base para a elaboração de estratégias de mitigação de impactos ambientais.

Agradecimentos

Agradecimento à Universidade Federal do Rio Grande (FURG) pelo empréstimo do drone para registro fotográfico aéreo durante os trabalhos de campo.

Referências

- Alahuhta, J., Tukiainen, H., Toivanen, M., Ala-Hulkko, T., Farrahi, V., Hjort, J., Ikäheimo, T. M., Lankila, T., Maliniemi, T., Puhakka, S., Salminen, H., Seppänen, M., Korpelainen, R., Ding, D. (2022). Acknowledging geodiversity in safeguarding biodiversity and human health. *The Lancet Planetary Health*, 6(12), e987–e992. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00259-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00259-5)
- Andrade, B. O., Dröse, W., Aguiar, C. A. D., Aires, E. T., Alvares, D. J., Barbieri, R. L., Mendonça Junior, M. D. S. (2023). 12,500+ and counting: biodiversity of the Brazilian Pampa. *Frontiers of Biogeography*, 15(2). DOI: <https://doi.org/10.21425/F5FBG59288>
- Azevedo, Ú. R. de. (2007) *Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO*. (doctoral thesis. Universidade Federal de Minas Gerais).
- Baeza, S., Vélez-Martin, E., De Abelleira, D., Banchemo, S., Gallego, F., Schirmbeck, J., Hasenack, H. (2022). Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomas Pampa initiative. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 100834. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100834>
- Becker, E. L. S. (2008). *Solo do Rio Grande do Sul e sua relação com o clima* (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Santa Maria).
- Becker, F. G., Ramos, R. A., e de Azevedo Moura, L. (2007). *Biodiversidade: regiões da Lagoa do*

- Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul* (Vol. 25). Allan Alvaro Jr Santos. Disponível em: <http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/serie-biodiversidade--25-regioes-da-lagoa-do-casamento-e-dos-butiazais-de-tapes-planicie-costeira-do-rio-grande-do-sul.pdf>
- Bétard, F. (2017). Géodiversité, biodiversité et patrimoines environnementaux. *De la connaissance à la conservation et à la valorisation. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris-Diderot, 1*, 270.
- Bétard, F., Peulvast, J. P. (2019). Geodiversity hotspots: Concept, method and cartographic application for geoconservation purposes at a regional scale. *Environmental management*, 63(6), 822-834. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01168-5>
- Binda, A. L., Verdum, R. (2015). Reflexões interpretativas sobre as manchas de areia do sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil: da desertificação à arenização. *Boletim Goiano de Geografia*, 35(2), 273-288. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v35i2.37431>
- Botelho, R. G. M. (2018). Geoextinção: o novo conceito e a valorização da geodiversidade e da geoconservação. *XII Simpósio Nacional de Geomorfologia*. URCA: Crato, CE. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/5/5-479-2217.html>
- Brasil de Fato, No ritmo em que está a destruição dos campos, o Pampa vai acabar', avisa pesquisador. Valério Pillar aponta os vilões: monocultura da soja, agrotóxicos, descaso dos governos e fiscalização ausente, publicado em 04 de maio de 2024, disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2024/05/04/n-o-ritmo-em-que-esta-a-destruicao-dos-campos-o-pampa-vai-acabar-avisa-pesquisador> acesso em: 05/05/2024.
- Brasil de Fato, Projeto de parques eólicos na Lagoa dos Patos expõe conflitos da busca por sustentabilidade, publicado em 30 de dezembro de 2022, disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2022/12/30/projeto-de-parques-eolicos-na-lagoa-dos-patos-expoe-conflitos-da-busca-por-sustentabilidade> acesso em: 14/11/2023.
- Brasil, Decreto nº 529, de 20 de maio de 1992. Cria a Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=529&ano=1992&ato=bdfoXQE10MFpWT92d>
- Brilha, J. B. (2005). *Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Palimage. Viseu/Portugal: Palimage Editora, 1, 190.
- Burger, M. I. (2000). Situação e ações prioritárias para a conservação de banhados e áreas úmidas da zona costeira. Base de Dados Tropical. Porto Seguro.
- Claudino-Sales, V. (2021). Geodiversity and geoheritage in the perspective of geography. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, (21), 45-52. DOI: <https://doi.org/10.2478/bgeo-2021-0008>
- da Costa, Marília Silva; Sato, S. E. (2021). Estação Ecológica do Taim: uma análise sobre uso do espaço físico-natural e a legislação ambiental. *Revista GeoUECE*, v. 10, n. 18, p. 122-134.
- Dantas, M. E., Vieiro, A.C., da Silva, D. R. A. (2010). Origem das paisagens. In: *Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. Org. VIEIRO, A. C., da Silva, D. R. A., (ed). CPRM: Porto Alegre, 2010, p.35-50*. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14710>
- Datta, K. (2022). Does geodiversity correlate with land use/land cover diversity? A case study of Birbhum district, West Bengal, India. *Proceedings of the Geologists' Association*, 133(6), 589–602. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2022.07.004>
- de Andrade Evangelista, A. C., Ferreira, E. G., da Silva, R. F., Ilha, J. G., Soares, M. M. (2022). Sustentabilidade para que (m)? Discussões em torno dos conflitos do projeto de instalação de Parques Eólicos na Lagoa dos Patos/RS na perspectiva da pesca artesanal. In *IDeAS* (Vol. 16, No. 1, pp. 1-1). Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- de Borba, A. W. (2011). Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em geociências*, 38(1), 3-13. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.23832>
- de Borba, A. W., Souza, L. F., Mizusaki, A. M. P., Almeida, D. P., Stumpf, P. P. (2013). Inventário e avaliação quantitativa de geossítios: exemplo de aplicação ao patrimônio geológico do município de Caçapava do Sul (RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 40(3), 275-294. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.77830>

- de Borba, A. W; Guadagnin, F. (2022). The Guaritas, Serra do Segredo, and Minas do Camaquã geosites of the 'Caçapava UNESCO Aspiring Geopark' (southernmost Brazil): world-class sites for Gondwanan sedimentation, tectonics, copper mining, and cavernous weathering research. *Geoheritage*, v. 14, n. 1, p. 14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00648-1>
- de Oliveira Lopes, Â. L., Cardoso, A. M. Simon, A. L. H. (2022) Avaliação Subíndice de Geomorfologia para a Obtenção do Índice de Geodiversidade do Bioma Pampa Brasileiro. In: XIX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 1, Rio de Janeiro: UFRJ, p. 43-48.
- de Oliveira Lopes, Â. L., Cardoso, A. M., Trentin, G., Simon, A. L. H. (2023). Manifestação paisagística das áreas com elevados valores do índice de geodiversidade no Pampa Atlântico brasileiro. *GeoPUC*, 15. Disponível em: <https://geopuc.emnuvens.com.br/revista/article/view/10>. Acesso em: 19 maio. 2024.
- de Oliveira Lopes, Â. L., Simon, A. L. H. (2020) Panorâma das Unidades de Conservação da Natureza no Bioma Pampa Brasileiro. In: Anais do VII Seminário do programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPel. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/sempegeoufpel/anais-do-sempegeoufpel-2/>
- de Oliveira Lopes, Â. L., Simon, A. L. H. (2021) Índice de geodiversidade para o bioma Pampa brasileiro: avaliação metodológica. In: Anais XIV Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/enanpege/2021/TRABALHO_COMPLETO_EV154_MD1_SA123_ID140612112021155109.pdf
- de Oliveira Lopes, Â. L., Spinorello, R. L., Simon, A. L. H. (2017). Dinâmica de cobertura e uso da terra e as intervenções na rede de drenagem da bacia do Arroio Sanga Funda (Rio Grande do Sul Brasil). *Geografia*, 42(1), 23-38. DOI: <https://doi.org/10.5016/geografia.v42i1.12671>
- de Oliveira Lopes, Â. L.; de Sousa, S. F. G., Simon, A. L. H. (2016) Conflitos Ambientais entre o Uso da Terra e a Geodiversidade no Parque Estadual do Camaquã, Rio Grande do Sul, Brasil. In: Anais IX Seminário Latino-Americano e V Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/44773>
- de Oliveira Lopes, Â. L.; Dias, L. C.; Simon, A. L.H. (2021). Produção de materiais educativos para o Parque Estadual do Camaquã (RS/Brasil): Estratégias de divulgação e educação ambiental. *Geografia Ensino & Pesquisa*, e15-e15. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499444185>
- dos Santos, H.G., Jacomine, P. K. T., dos Anjos, L.H. C., de Oliveira, V. A., Iumbreras, J. F., Coelho, M. R., de Almeida, J. A., de Araújo Filho, J. C., de oliveira, J. B. Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 5ª ed. Brasília: EMBRAPA, 356.
- Gomes, T. C., Verdum, R., Laurent, F., Silva, N. L. D. (2022). Arenização: dinâmica climática atual, erosiva-deposicional e de usos e cobertura da terra no Pampa brasileiro. *Sociedade & Natureza*, 34, e64606. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-64606>
- Gray, M. (2004) *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. New York: John Wiley and Sons, 1, 495.
- Gray, M. (2013) *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Chichester: John Wiley and Sons, 2, 495.
- Hasenack, H. (2017). *Determinantes Biofísicos e Geopolíticos do Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil*. 2017 (Doctoral dissertation, Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios). Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- Hasenack, H., Weber, E., Boldrini, I. I., Trevisan, R. (2010). Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1: 500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos. *Porto Alegre: UFRGS*.
- Hjort, J., Gordon, J. E., Gray, M., Hunter Jr, M. L. (2015). Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Conservation Biology*, 29(3), 630-639. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.12510>
- Hjort, J., Seijmonsbergen, A. C., Kemppinen, J., Tukiainen, H., Maliniemi, T., Gordon, J. E., ... Gray, M. (2024). Towards a taxonomy of geodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 382(2269), 20230060. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0060>
- Hudson, P. F., Inbar, M. (2012). Land degradation and geodiversity: anthropogenic controls on environmental change. *Land Degradation & Development*, 23(4), 307-309. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2156>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). *Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000*.

- IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro:IBGE, 168.
- Katsaprakakis, D. Al. (2012). A review of the environmental and human impacts from wind parks. A case study for the Prefecture of Lasithi, Crete. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2850–2863. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.041>
- Kubalíková, L.; Balková, M. (2023). Two-level assessment of threats to geodiversity and geoheritage: A case study from Hády quarries (Brno, Czech Republic). *Environmental Impact Assessment Review*, v. 99, p. 107024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.107024>
- Mallinis, Giorgos et al. (2023) MAES implementation in Greece: geodiversity. *Journal of Environmental Management*, v. 342, p. 118324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118324>
- Manosso, F., Pellitero Ondicol, R. (2012). Geodiversidade: considerações sobre quantificação e avaliação da distribuição espacial. *Anuário do Instituto de Geociências*. 35 – 1, 90-100.
- MapBiomas - Projeto MapBiomas (2021). Mapeamento Anual de Coberturas e Usos da Terra no Bioma Pampa – Coleção 6, acessado em 10 de agosto de 2021 através do link: <http://surl.li/mfnak>.
- Ministério do Meio Ambiente (2007), Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA.
- Monteblanco, F. L., de David, C. (2022) PAISAGEM PASTORIL: expressão cultural-agrária do Pampa. *CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária*, v. 17, n. 44, p. 145-169, p. 149. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCT164407>
- Myers, N. (1988). Threatened biotas: "hot spots" in tropical forests. *Environmentalist*, 8, 187-208.
- Nieto, L. M. (2023). Geodiversity as a Tool for the Nature Conservation. *Current Perspectives on Applied Geomorphology*. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.109010>
- Pereira Balaguer, L., da Glória Motta Garcia, M., Leite Ribeiro, L. M. A. (2022). Combined Assessment of Geodiversity as a Tool to Territorial Management: Application to Southeastern Coast of State of São Paulo, Brazil. *Geoheritage*, 14(2), 60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00696-7>
- Pereira, L. S., da Silva Farias, T. (2016). Os Valores e Ameaças à Geodiversidade: Um olhar sobre João Pessoa-PB e litoral sul do estado. *Revista da ANPEGE*, 12(17), 141-166. DOI: <https://doi.org/10.5418/RA2016.1217.0007>
- Preciozzi, F., Masquelin, H., Sanchez, L. (1993). Geologia de la porción sur del Cinturón Cuchilla Dionisio. In: *Primer Simposio Internacional Del Neoproterozoico/Cámbrico de La Cuenca Del Plata*, La Paloma. Disponível em: <http://geotectonica.fcien.edu.uy/documentos/1993.pdf>
- RADAMBRASIL - Projeto RADAMBRASIL (1986). Folhas SI22, SH21, SH22 e SG21. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1986. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=219048> Acesso em: 07/11/2023.
- Reverte, F.C., Garcia M.G.M., Brilha, J., Pellejero, A.U. (2020) Assessment of impacts on ecosystem services provided by geodiversity in highly urbanised areas: a case study of the Taubaté Basin, Brazil. *Environ Sci Policy* 12:91–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.05.015>
- Ribeiro, J. G. J.; Kormann, T. C.; Verдум, R. (2021) Simulação digital do impacto visual de empreendimento eólico na paisagem do Cerro do Jarau. In: Verдум, R.; Vieira, L.F.S.; Silva, L.A.P.; Gass, S.L.B. (org.). *Paisagem: leituras, significados, transformações*. Porto Alegre: Editora Letra1, v. 2. DOI: <https://doi.org/10.21826/9786587422114>
- Ross, J. L. S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. *Revista do departamento de geografia*, 8, 63-74. DOI:10.7154/RDG.1994.0008.0006.
- Schafer, A. (1992). Ecological Characteristics of the coastal lakes in southern brazil: A synthesis. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 4, p.111-122.
- Siefert, C. A. C., Santos, I. D. (2016). Avaliação do impacto visual de parques eólicos na qualidade e estética da paisagem no entorno de áreas protegidas: Estudo de caso do Parque Estadual do Guartelá, pr. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, 38, 221. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v38i0.43250>
- Silva, J. P., Barreto, H. N. (2014). Mapeamento dos índices de geodiversidade da Amazônia Legal maranhense. *Revista Geonorte*, 5(18), 55-60.
- Simon, A. L. H, e da Silva, P. F. (2015). Análise geomorfológica da planície lagunar sob influência do canal São Gonçalo–Rio Grande do Sul–Brasil. *Geosciences= Geociências*, v. 34, n. 4, p. 749-767.

- Simon, A. L. H., Felipim, T., de Oliveira Lopes, Â. L. (2017). Bacia do Arroio Chasqueiro (RS): Alterações Morfohidrográficas Vinculadas à Dinâmica de Cobertura e Uso da Terra. *Revista do Departamento de Geografia*, 278-286. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.132730>
- Sul 21, Sob crítica de ambientalistas, Consema aprova novo Zoneamento Ambiental da Silvicultura, publicado em 17 de setembro de 2023, disponível em: <https://sul21.com.br/noticias/meio-ambiente/2023/09/sob-critica-de-ambientalistas-consema-aprova-novo-zoneamento-ambiental-da-silvicultura/>. Acesso em: 12/05/2024.
- Thomas, M. F. (2022). Landscape Sensitivity, Environmental Change And Geodiversity. William Morris Davis-*Revista de Geomorfologia*, v. 3, n. 1, p. 1-10.
- Tomazelli, L. J., Willwock, J. A. (2000). O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; de Ros, L.F. (eds). *Geologia do Rio Grande do Sul. UFRG: Porto Alegre*, p. 375-406.
- Tukiainen, H., Maliniemi, T., Alahuhta, J., Hjort, J., Lindholm, M., Salminen, H., Snåre, H., Toivanen, M., Vilmi, A., Heino, J. (2023). Quantifying alpha, beta and gamma geodiversity. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 47(1), 140-151. <https://doi.org/10.1177/03091333221114714>
- Tukiainen, H.; Toivanen, M; Maliniemi, Tuija. (2023) Geodiversity and biodiversity. In: Kubalíková, L., Coratza, P., Pál, M., Zwoliński, Z., Irapta, P. N. and van Wyk de Vries, B. (eds). *Visages of Geodiversity and Geoheritage*. Geological Society, London, Special Publications, 530, 31–47. First published online. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP530-2022-107>
- Vernham, G., Bailey, J. J., Chase, J. M., Hjort, J., Field, R., Schrod, F. (2023). Understanding trait diversity: the role of geodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(8), 736-748. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.02.010>
- Wildner, W., Lopes, R. C. (2010). Evolução Geológica: do Paleoproterozóico ao recente. In: *Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul. Vieira, A. C. da Silva, D. R. A. (Org.). CPRM, Porto Alegre, p.35-50*. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14710>.