

DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE PARA A AVALIAÇÃO DAS AMEAÇAS À GEODIVERSIDADE DERIVADAS DO USO DA TERRA NO BIOMA PAMPA BRASILEIRO

Ândrea Lenise de Oliveira Lopes¹
Márlon Roxo Madeira²
Anelize Milano Cardoso³

RESUMO

A geodiversidade corresponde a porção não viva da paisagem, é constituída pela geologia, relevo, hidrografia e os solos, suas interações e processos físicos (BÉTARD, 2017), onde de acordo com Hjort *et al.* (2015), sua principal ameaça está vinculada às mudanças nos usos da terra. Assim, o objetivo do trabalho é 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 índice de coberturas e usos da terra (BÉTARD, 2017) foi idealizado a partir da ponderação da área ocupada por coberturas naturais e pelas diferentes formas de usos da terra, considerando a intensidade de seus impactos (ROSS, 1994) à geodiversidade. Tanto as atividades de natureza agrícola (atividades de pastoreio, cultivo de arroz e soja) como não agrícolas (urbanização e mineração) foram analisadas. Os resultados evidenciaram que das 1362 cartas do conjunto de quadrículas utilizadas para chegar ao índice de ameaças do Pampa, 43 delas (3,16%) obtiveram valores Muito Baixos de ameaças, e 277 das cartas, o que corresponde a 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. Os resultados identificados podem ser cruzados com o índice de geodiversidade, contribuindo para a identificação de *hotspots* de geodiversidade no Pampa.

Palavras-chave: Bioma Pampa, Ameaças à Geodiversidade, Gestão do Território.

ABSTRACT

Geodiversity corresponds to the non-living portion of the landscape, consisting of geology, relief, hydrography and soils, their interactions and physical processes (BÉTARD, 2017), where according to Hjort *et al.* (2015), its main threat is linked to changes in land use. Thus, the objective of the work is to present a methodology for evaluating threats to geodiversity arising from land use through an index applied in the area covered by the Brazilian Pampa biome, contributing to the analysis and management of geodiversity in areas affected by activities human. The land cover and use sub-index (BÉTARD, 2017) was created by weighing the area occupied by natural covers and the different forms of land use, considering the intensity of their impacts (ROSS, 1994) on geodiversity. Both agricultural activities (grazing activities, rice and soybean cultivation) and non-agricultural activities (urbanization and mining) were analyzed in the index. The results showed that of the 1362 cards in the set of squares used to arrive at the Pampa threat index, 43 of them (3.16%) obtained Very Low threat values, and 277 of the

¹ Doutoranda em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, lopes.andrea.geo@gmail.com;

² Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, marlon.madeira@gmail.com;

³ Doutoranda em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, anelize_milano@hotmail.com.

cards, which corresponds to 20.34%, were categorized in the Low threat class. 666 cards (48.90%) were identified with a value referring to Medium threat to geodiversity. The High threat class was identified in 375 maps (27.53%) covering the study area. The identified results can be crossed with the geodiversity index, contributing to the identification of geodiversity hotspots in Pampa.

Keywords: Pampa Biome, Threats to Geodiversity, Territory Management.

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). Além disso, é considerada o substrato que sustenta a vida na terra (GRAY, 2013). Brilha (2005) argumenta também que a geodiversidade influenciou na organização espacial das civilizações ao longo da história, assim como ainda interfere nas sociedades atuais, em suas atividades econômicas, culturais e religiosas.

Dada sua importância para o desenvolvimento econômico e humano, a diversidade abiótica global está sujeita a várias formas de apropriação, ocupação e exploração dos seus elementos. Esses processos geralmente ocorrem de forma sistemática e sem planejamento e/ou ações de manejo dos impactos negativos, bem como estratégias para a recuperação das áreas degradadas.

Assim, os métodos que visam medir o impacto das atividades humanas na geodiversidade são essenciais para o desenvolvimento sustentável, para a gestão territorial e no suporte às ações voltadas à geoconservação. Mesmo diante de sua importância, as discussões teóricas e metodológicas que mensuram a relação entre geodiversidade e uso da terra ainda são raras na literatura (BÉTARD, 2017). O uso da terra refere-se às condições às quais a superfície geográfica é ocupada para o desenvolvimento de atividades humanas, como agricultura, urbanização, mineração, indústrias e infraestruturas (Mapbiomas, 2021).

Contudo, assim como ocorre com a biodiversidade, a principal ameaça à geodiversidade está vinculada às mudanças nos usos da terra (HJORT *et al.*, 2015; HUDSON e INBAR, 2012), que desencadeiam respostas rápidas nas paisagens e que extrapolam os limites geológico-geomorfológicos e ecológicos, 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. 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. 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.

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é 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. 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 (BÉTARD, 2017).

O bioma Pampa brasileiro (Figura 1) compreende uma área geográfica de 193.915km² (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).

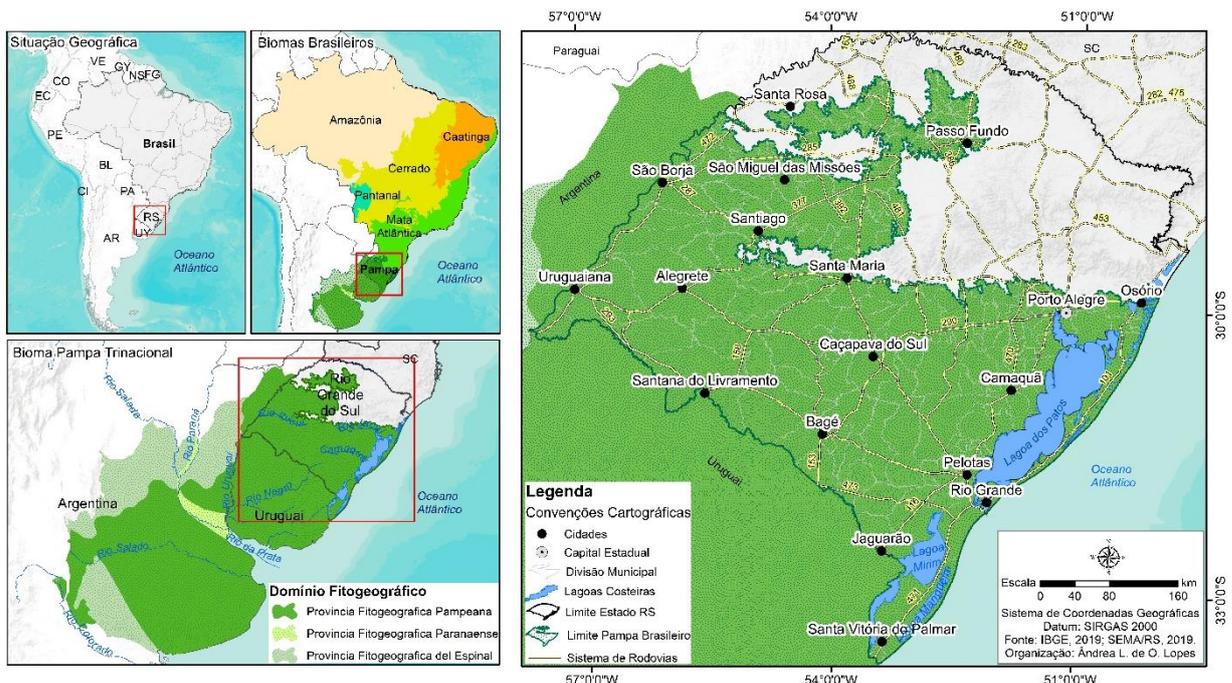


Figura 1: Localização Geográfica do Bioma Pampa. **Fonte:** Organizado pelos autores.



CONTEXTUALIZAÇÃO ABIÓTICA DO PAMPA BRASILEIRO

O Pampa brasileiro está assentado sobre quatro províncias geológicas: Escudo Sul-rio-grandense, Depressão central ou Periférica, Formação Serra Geral e a Planície Costeira. O Escudo Sul-rio-grandense 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 Periférica foi formada pela subsidência de uma imensa área composta 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 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 Uruguiana e Planalto Dissecado do Rio Uruguai (DANTAS; VIEIRO; SILVA, 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 (LOPES, CARDOSO e SIMON, 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 Planície Costeira Interna, com o predomínio de formas fluviais e lacustres (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000; DANTAS; VIEIRO; SILVA, 2010).

O Planalto Sul-Rio-Grandense possui duas unidades geomorfológicas (RADAMBRASIL, 1986) os Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava e o Planalto Rebaixado



Marginal. 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 estruturais e escarpas. Planalto Rebaixado Marginal encontra-se bastante dissecado, caracterizando um relevo de colinas, interflúvios tabulares e cristas (RADAMBRASIL, 1986; DANTAS; VIEIRO; SILVA, 2010).

O domínio da Depressão Central Gaúcha constitui-se numa área baixa, interplanáltica onde os processos erosivos esculpiram em rochas sedimentares paleozóicas, triássicas e jurássicas da Bacia do Paraná, é dividida 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; VIEIRO; SILVA, 2010).

Na Cuesta de Haedo ocorre a formação de relevos cuestiforme, com feições residuais em forma de mesetas, como o Cerro da Palomas e Cerro do Caverá. A cuesta possui o front escarpado voltado para leste, em direção à Depressão do Rio Ibicuí (DANTAS; VIEIRO; SILVA, 2010).

O Planalto de Uruguiana apresenta relevo dissecado em colinas e morros, porém, em direção ao rio Uruguai apresenta superfícies aplainadas ou modelados 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 confere um caráter dissecado a esse planalto à medida 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; VIEIRO; SILVA, 2010).

REFERENCIAL TEÓRICO

A geodiversidade está submetida a diversas formas de apropriação, ocupação e usos e os métodos que se proponham a mensurar os impactos à geodiversidade pelas atividades antrópicas ainda são escassos na literatura (BÉTARD, 2017). Os elementos da geodiversidade, de forma geral, constituem a base do desenvolvimento econômico e social, resultando em óbvias implicações ambientais (BOTELHO, 2018). Logo, é urgente a necessidade de sistematização de métodos que se proponham a mensurar e avaliar os impactos à geodiversidade

Gray (2013), afirma que as ameaças à geodiversidade podem ter origem em processos naturais ou ainda por meio de atividades humanas. No que se refere às ameaças antropogênicas, Borba (2011) e Gray (2013) destacam atividades como a mineração, obras de engenharia como barragens, hidrelétricas e rodovias, atividades agrossilvipastoril, as mudanças nos usos da terra, a coleta de amostras, incêndios, disposição de resíduos sólidos, ocupação urbano-industrial em zonas costeiras, turismo predatório e o desconhecimento dos gestores e sociedade sobre a importância de conservação dos locais representativos da geodiversidade.

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. 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. 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 elementos.

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 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, extinta para a construção do lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Foz do Iguaçu/PR), no ano de 1982.

Rodrigues e Silva (2012) examinaram os impactos da construção de barragens na geodiversidade da Bacia do Rio Araguari/MG. Seu estudo aplica uma metodologia para quantificar a perda de geodiversidade em função do represamento do rio e, portanto, representa



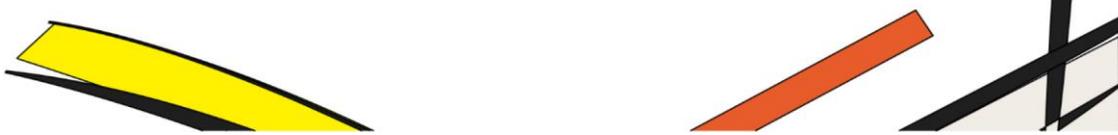
uma aplicação pioneira do conceito de geodiversidade e o estudo dos impactos humanos no meio ambiente. A construção de barragens e reservatórios é considerada como causa direta para a perda de geodiversidade devido à inundação de geossítios, como cachoeiras, sítios paleontológicos, arqueológicos e cavernas (RODRIGUES E SILVA, 2012).

Com o objetivo de relacionar espacialmente a biodiversidade, a geodiversidade e sua resposta frente às distintas formas de uso da terra em escala de paisagem, em um contexto físico-ambiental de áreas de altas latitudes, Tukiainen *et al.*, (2017) avaliaram o território da Finlândia identificando as áreas com maior riqueza de espécies de plantas e a georriqueza em paisagens com baixos, moderados ou altos impactos humanos. Os autores utilizaram metodologia baseada em modelagens geoespaciais e modelos aditivos generalizados (GAM) para a quantificação e correlação entre o uso da terra, a diversidade de elementos abióticos e a riqueza de espécies vegetais em uma malha quadrática formada por 6.191 quadrículas (com 1 km² de recobrimento cada).

O experimento evidenciou que a geodiversidade é afetada negativamente de forma mais incisiva do que a biodiversidade em áreas altamente impactadas pelo uso da terra. Além disso, os autores observaram que as áreas em que a georriqueza exerceu maior influência na biodiversidade foram aquelas em que os ambientes se encontravam mais próximos de seu estado natural. Assim, de acordo com o estudo, pode-se afirmar que a relação geodiversidade e biodiversidade apresenta maior interdependência em áreas com baixo grau de ocupação antropogênica (TUKIAINEN *et al.*, 2017).

A mineração, por sua vez, é reconhecida como uma atividade altamente impactante, e suas consequências ambientais podem ser percebidas em níveis local ou regional, nos mais variados ecossistemas (SEIJMONSBERGEN *et al.*, 2022). A exploração mineral possui relação de causa-efeito com todas as variáveis específicas da geodiversidade, seja pelo garimpo de recursos geológicos/minerais, pela extração de turfa ou carbono e a translocação de solos, pelo aplainamento e cortes no relevo ou ainda pelos impactos à hidrografia por meio da construção de lagos artificiais ou ainda pela mineração de areia em cursos fluviais, alterando sua morfologia, taxa de erosão e balanço sedimentar (BÉTARD, 2017; SEIJMONSBERGEN *et al.*, 2022).

Ao se considerar a perspectiva dos serviços geossistêmicos da geodiversidade, a mineração é compreendida como um serviço de provisão (COSTA *et al.*, 2019; GRAY, 2013). Além disso, a ciência geológica por muito tempo esteve atuando no suporte técnico e científico à mineração, porém, alinhada ao desenvolvimento expansivo da atividade e seus benefícios econômicos.





Nesse sentido, Seijmonsbergen *et al.*, (2022) destacam a falta de indicadores globais sobre a geodiversidade, com dados harmonizados, transparentes e fáceis de medir, gerados com base científica. Esse desconhecimento reflete na ausência de políticas públicas internacionais de conservação e gestão. Os autores também salientam a necessidade do monitoramento e gestão das atividades de mineração em escala global, fornecendo bases para o delineamento de melhorias no processo de extração e evitando o esgotamento ou escassez de recursos.

Dentro da concepção de análise conjunta da geodiversidade e suas ameaças, Wolinski (2004), destaca o Atlas de Geodiversidade da Polônia como um importante instrumento cartográfico e analítico no subsídio estratégico de conservação da natureza abiótica. O Atlas da Geodiversidade Polonês é formado pelo mapa de estruturas abióticas que compõem a paisagem, bem como pelo “mapa da antropopressão”, que evidencia o impacto humano aos elementos da geodiversidade local.

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 geossistêmicos que ofertam (BALAGUER; GARCIA e RIBEIRO, 2022; PEREIRA e FARIAS, 2016; REVERTE *et al.*, 2020). Tais resultados podem ter importantes contribuições para a gestão territorial e para a identificação de áreas com vistas à geoconservação.

Bértard (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.

METODOLOGIA

Para se alcançar o objetivo proposto, inicialmente foi necessária a geração do grid de contagem das classes. Para tal, foi criada uma matriz com base no Sistema Cartográfico Nacional (SILVA e BARRETO, 2014; LOPES e SIMON, 2021), utilizando nomenclatura de cartas do Brasil, em escala de 1:25.000. O grid na escala de interesse foi constituído por meio de um gerador de enquadramento sistemático, disponível por meio do plugin “*GridZoneGenerator*” para instalação no software livre QGis versão 2.18.17.



O subíndice de coberturas e usos da terra (BÉTARD, 2017) foi viabilizado a partir da ponderação da área ocupada por coberturas naturais e pelas diferentes formas de usos da terra, considerando a intensidade do impacto à geodiversidade oriundo de cada atividade. 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 subíndice de coberturas e usos da terra.

Para a identificação das classes de ocupação e de coberturas da terra no Pampa foi realizada por meio dos resultados disponibilizados pelo projeto Mapbiomas⁴, 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 e sistematizadas as diferentes classes de coberturas e usos da terra e as dimensões espaciais de cada classe em cada quadrícula que forma o grid de recobrimento do Pampa.

O cálculo de área para as classes de coberturas e usos da terra identificadas em cada quadrícula foi viabilizado através da ferramenta “*Tabulate Area tool*” disponível no *software ArcGis* versão Pro (licença de estudante). 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. Assim, 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 (3), A-Alta (4) e MA-Muito Alta (5) (Quadro 8).

A categoria “MB” compreende as seguintes classes de coberturas: 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, Aquicultura. Já a categoria “B” abrange a cobertura 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

⁴ 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).



temporárias, e Soja. Por fim, a categoria “MA” abrange as classes: Infraestrutura Urbana; e Mineração.

Assim, ao saber a extensão da área ocupada por cada classe, bem como do valor atribuído à intensidade da ameaça que a atividade exerce, foi realizada a ponderação considerando a área total de ocupação dos distintos usos e coberturas da terra em cada quadrícula, conforme evidencia a equação seguinte:

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

O valor da quadrícula (VQ): onde x representa a área (em m²) ocupada pela classe de cobertura ou uso da terra; p equivale ao peso atribuído à classe (oriundo do nível de ameaça que representa) conforme Ross (2011). 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 e maior expressão espacial de ocupação na quadrícula.

Por fim, foram realizados dois trabalhos de campo para validação do índice, o primeiro campo percorreu cerca de 718 km (dias 29, 30 e 31/05/2021) no interior do Geoparque Caçapava Mundial UNESCO. O segundo campo deslocou-se por cerca de 2.275km 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 drone⁵ (modelo DJI MAVIC 2 PRO e o App para obter as imagens DJI Go 4).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 2).

⁵ Equipamento cedido pela Universidade Federal do Rio Grande.



A classe **Formação Florestal** foi identificada em 12,10% do território do Pampa, estando associada aos principais cursos fluviais em forma de mata ciliar e, sobre as áreas de relevo com altitudes elevadas do Escudo-Sul-Riograndense apresenta florestas de encosta e de galeria (Figura 2). Em conformidade com Hasenack *et al.* (2010) a vegetação dessa formação florestal corresponde, no sistema fitoecológico brasileiro, à Floresta Estacional Semidecidual.

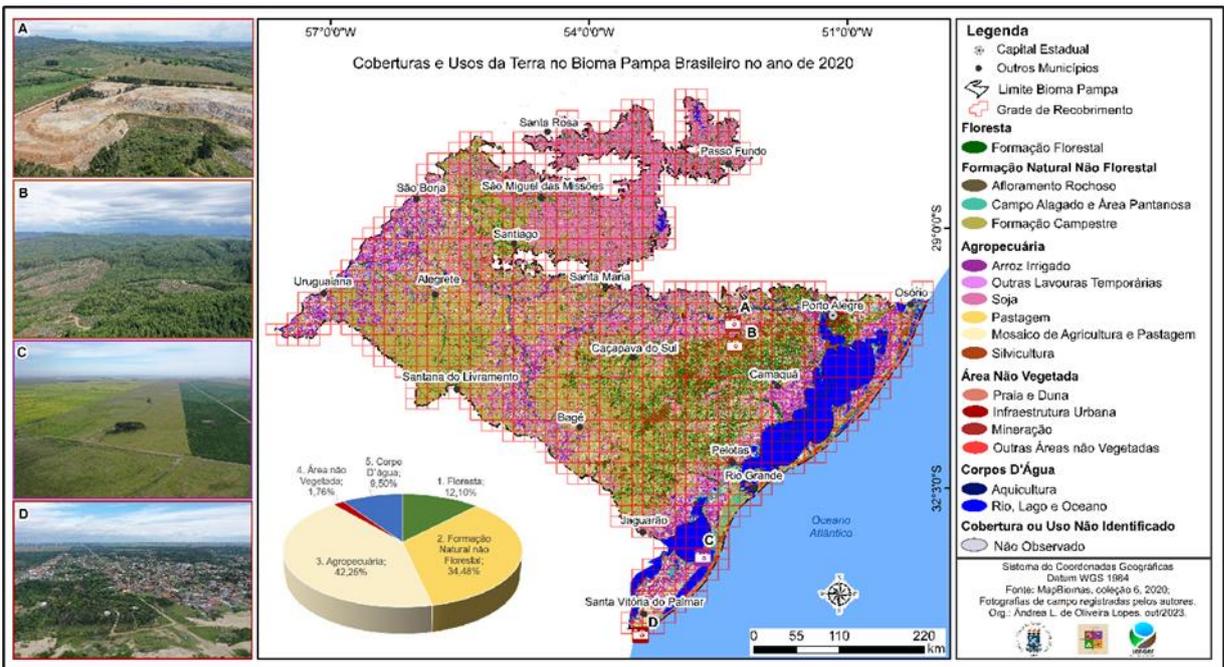


Figura 2: Mapa de coberturas e Usos da Terra no bioma Pampa brasileiro. Fotografias: A) Área de mineração no município de Pântano Grande/RS; B) Ocupação por Silvicultura no município de Dom Feliciano/RS; C) Mosaico de agricultura, soja, arroz irrigado e pecuária em Santa Vitória do Palmar/RS; D) Avanço 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 MapBiomias, 2020; fotografias de campo obtidas pelos autores.

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% 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 alta geodiversidade, associada a grande variedade de rochas metamórficas, tais como xistos, quartzitos, filitos, anfíbolitos, gnaisses e mármores em estruturas deformadas e intrudidas por corpos graníticos, recobertas por formações sedimentares antigas e rochas vulcânicas de diversas composições e idades (BORBA *et al.*, 2013; PRECIOZZI, MASQUELIN e SANCHEZ, 1993).



As áreas de Campo Alagado ou Área Pantanosa estão inseridas preponderantemente no litoral (Figura 2), essas formações alagadiças são feições características da Planície Costeira gaúcha dotadas de extrema relevância ecológica e regulatória do sistema hidrológico desempenhando importantes serviços ecossistêmicos (RAMOS, MOURA e BECKER, 2007).

De acordo com a Figura 2, 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 2). Essa porção é reconhecida pela alta riqueza de espécies. Todavia, os solos são rasos e de difícil mecanização, explicando o porque 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% desse território (Figura 2). 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 e Mosaico de Agricultura e Pastagem.

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, Uruguaiana, Itaqui, Maçambará e São Borja. Nessa 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 (SANTOS *et al.*, 2018), sua textura plástica dificulta a percolação por raízes, sendo usados para o plantio do arroz irrigado (BECKER, 2008).

O arroz irrigado também é a matriz produtiva principal nos municípios da Planície Costeira, 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 e a 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.

Pastagem, Outras Culturas Temporárias e Mosaico Agricultura e Pastagem, na área de estudo, estão intimamente associadas espacialmente as áreas de plantio do arroz irrigado (Figura 2). 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 as 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 consolida como atividade predominante ao longo das últimas décadas, culminando na expansão da atividade por todo o entorno.

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-rio-grandense. Em conformidade com Hasenack (2017), até a década de 1970 a silvicultura tinha pouca expressividade no Pampa, contudo em 1972, com a instalação da primeira indústria de celulose no estado impulsionou a silvicultura do eucalipto, em especial na Serra do Sudeste, com o passar do tempo a atividade se expandiu para outras partes do Pampa.

As **Áreas Não vegetadas**, que ocupam cerca de 1,76% do Pampa se manifestando por meio das coberturas arenosas, classificadas como Praias, Dunas e Areal. Também apresenta usos voltados para a Mineração, Infraestrutura urbana 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. Porém, 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, áreas formadas por Neossolos Quartzarênicos Órticos, ou seja, solos arenosos, altamente sujeitos à erosão.

As áreas destinadas à mineração foram identificadas nos municípios de Minas do Leão e Butiá na porção norte do Pampa, também foi identificada em Caçapava do Sul e Candiota. Diante do fato dos resultados terem identificado a atividade de mineração em pequenas áreas do Pampa enfatiza-se a possível subestimação da atividade, isto pode ter ocorrido em função da escala de mapeamento e as características de ocupação geográfica da atividade mineraria, que de forma geral são organizadas em escala locacional, em pequenos espaços, porém suas intervenções ambientais são incisivas e profundamente impactantes. Além disso, atividades de mineração direta em cursos fluviais, como a extração de areia (Figura 3), não são passíveis de identificação por meio do mapeamento de usos da terra.



Figura 3: Embarcação para atividade de mineração de areia no Rio Jacuí em Rio Pardo/RS.

Fonte: Registro obtido pelos autores.

A infraestrutura urbana na área de estudo se apresenta de forma mais representativa na região nordeste da área de estudo, abrangendo a capital gaúcha, Porto Alegre, e sua região metropolitana, organizada ao norte do Lago Guaíba e se estendendo em direção norte, na zona de transição entre a Depressão do Rio Jacuí e a Escarpa da Serra Geral, esta inserida nos domínios do bioma Mata Atlântica.



A classe **Corpos d' Água** foi identificada em 9,5% da área de estudo, abarca feições naturais como rios, lagos e lagoas bem como feições artificiais como represas e reservatórios. Nas feições naturais se destaca o sistema Patos-Mirim, localizado na porção sul da zona costeira, assim como o sistema de rosário de lagoas do litoral norte gaúcho. Em função das características morfogenéticas da Planície Costeira do RS 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 sobretudo associados as áreas destinadas as práticas de uso agrícola, importantes para as práticas de irrigação e em alguns casos, para o abastecimento urbano.

O Índice de Ameaças à Geodiversidade

O índice de usos da terra (Figura 4) evidencia o elevado nível de ameaça ao qual o bioma Pampa brasileiro está submetido. Verifica-se, por meio dos resultados alcançados através da metodologia proposta que o Pampa está contido ao nível de média ameaça oriunda das práticas de usos da terra, visto que essa classe foi identificada em 48,90% das cartas de recobrimento da área, e que estão localizadas em todas as regiões da área de estudo, associadas principalmente às atividades agrícolas.

Das 1362 cartas de recobrimento do Pampa, 43 delas (3,16%) obtiveram valores Muito Baixos de ameaças, e 277 das cartas, o que corresponde a 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 4).

Na região metropolitana de Porto Alegre (capital do estado do Rio Grande do Sul), foram verificados valores de Alta ameaça à geodiversidade. O principal vetor de ameaças identificado foi a urbanização, sendo que esta é a porção com maior densidade populacional e concentração de atividades industriais do estado do Rio Grande do Sul. Nessa porção do Pampa também existem áreas voltadas para o cultivo do arroz irrigado.

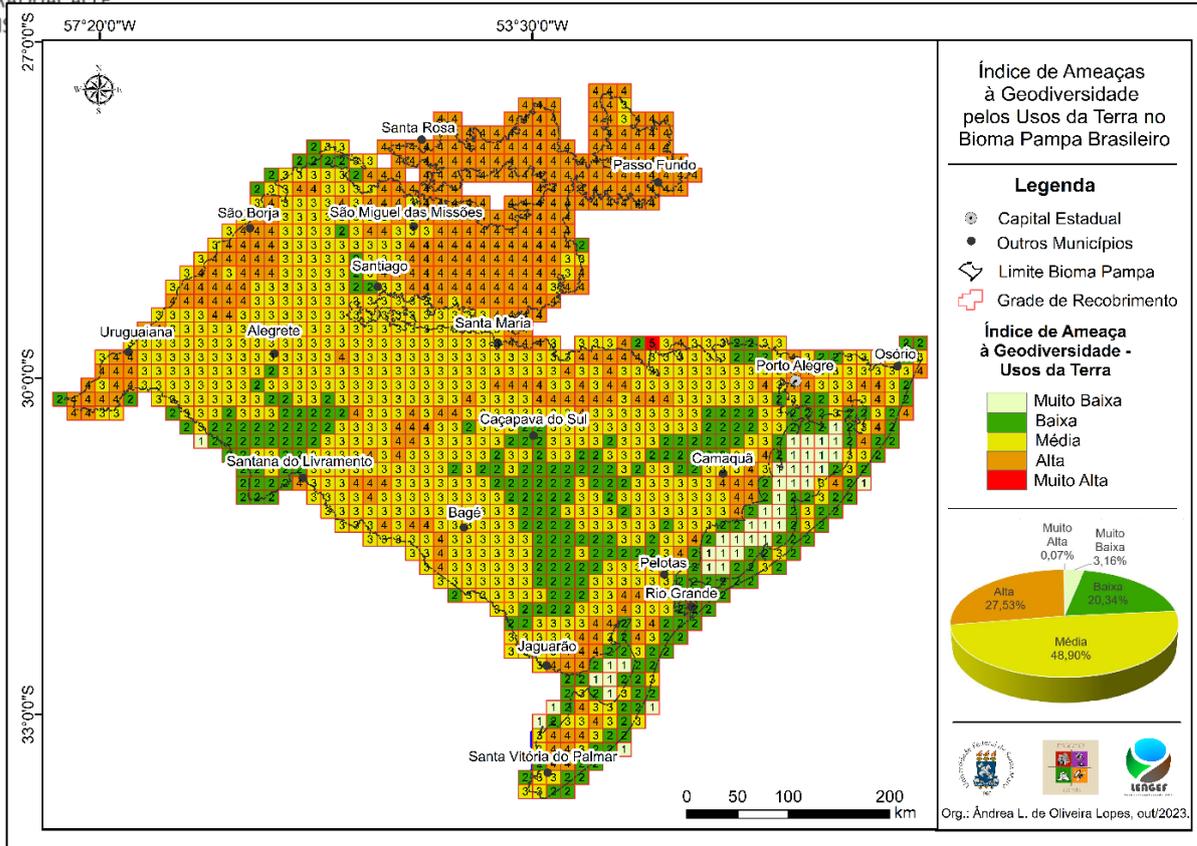


Figura 4: Mapa do índice de ameaças à geodiversidade pelo uso da terra no bioma Pampa.
Fonte: Organizado pelos autores.

Na área de contato do limite do bioma Pampa com a Mata Atlântica, na região central do Rio Grande do Sul, onde localiza-se o rio Jacuí, as principais práticas de ocupação do espaço também estão voltadas ao plantio de soja, e nas planícies de inundação do Jacuí ocorrem amplas lavouras de arroz irrigado. Essas duas culturas agrícolas se estendem ao Sul da região da Depressão Central, onde inserem-se municípios como São Sepé e São Gabriel. Nestas áreas também foram verificadas quadrículas com valores altos de ameaças à geodiversidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da metodologia desenvolvida apontam as áreas do bioma Pampa em que os usos da terra representam altos níveis de ameaças aos elementos abióticos, que ao serem cruzadas com o índice de geodiversidade contribuem para a identificação de *hotspots* de geodiversidade no Pampa. Tais informações são relevantes para a gestão territorial e para conservação da geodiversidade e biodiversidade do Pampa.

No entanto, foram identificadas algumas fragilidades no presente estudo oriundas da escala utilizada: 1) Foi observado que usos da terra com alto grau de ameaça à geodiversidade,

comunicação e urbanização, podem ser subestimados em função da extensão de área total ocupada pela atividade em uma determinada quadrícula; 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 em áreas sensíveis.

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 uma métrica estática. 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.

A abordagem de avaliar 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. 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.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Ú. R. de. **Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO**. 2007. 235f. Tese de doutorado em Geologia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2007.

BALAGUER, L.; GLÓRIA M. G.M.; RIBEIRO, M. A. L. Combined Assessment of Geodiversity As a Tool to Territorial Management: Application to Southeastern Coast of State of São Paulo, Brazil. **Geoheritage**, v. 14, n. 2, p. 1-21, 2022.



BECKER, E. L. S. **Solo do Rio Grande do Sul e sua relação com o clima.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2008, 98p.

BÉTARD, F. **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: Paris, 2017. 2 volumes, 270p. e 316p.

BRILHA, J. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza em sua vertente Geológica.** Viseu/Portugal: Palimage Editora, 2005. 190p.

BOTELHO, R. G. M.; PELECH, A. S.; SOUZA, R. A. DE. Retrato e Valor(iz)ação da Geodiversidade Brasileira. **Anais do 7º Seminário de Metodologia do IBGE**, n. November, p. 1–7, 2018.

BORBA, A. W. 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**, v. 38, n. 1, p. 3-13, 2011.

BORBA, A. W. *et al.* Inventário e avaliação quantitativa de geossítios: exemplo de aplicação ao patrimônio geológico do município de Caçapava do Sul (rs, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, Vol. 40, núm. 3, pp. 275-294, 2013.

COSTA, S. S. S. *et al.* Mining and geoconservation in Seridó Geopark project, Northeast Brazil. **Sustainable mining**, p. 65-73, 2019.

DANTAS, M. E.; VIEIRO, A. C.; SILVA, D. R. A. da. Origem das Paisagens. In: **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul.** Org. VIEIRO, Ana Cláudia. SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da. CPRM, Porto Alegre, 2010, p.35-50. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14710>

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature.** 2.ed. Chichester: John Wiley and Sons, 2013. 495p.

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I. I.; TREVISIAN, R. **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.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia, URGs/Porto Alegre, 2010, 18p.

HASENACK, H. **Determinantes Biofísicos e Geopolíticos do Uso Da Terra no Estado do Rio Grande Do Sul, Brasil.** Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Porto Alegre/URGS, 2017, 70p.

HJORT, J. GORDON, J.E. GRAY, M. MALCOLM, L. HUNTER, Jr. Why geodiversity matters in valuing nature's stage. **Conservation Biology**, v.29, p. 630–639, 2015.

HUDSON, P. F.; INBAR, M. Land degradation and geodiversity: anthropogenic controls on environmental change. **Land Degradation & Development**, v. 23, n. 4, p. 307-309, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **PROJETO RADAMBRASIL**, 1986. Disponível em:



Acesso em: 07/11/2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas 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, 2019. 168p.

LOPES, Â., SIMON, A. Índice de Geodiversidade para o Bioma Pampa Brasileiro: Avaliação metodológica. In: **Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia**, XIV, 2021, edição online.

LOPES, Â. L. de O.; CARDOSO, A. M.; SIMON, A. L. H. Avaliação Subíndice de Geomorfologia para a Obtenção do Índice de Geodiversidade do Bioma Pampa Brasileiro. In: XIX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2022, v. 1, n. XIX, Rio de Janeiro. **Anais**, Rio de Janeiro: UFRJ, 2022. p. 43-48.

MapBiomas – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em: 10 de agosto de 2021 através do *link*: <http://surl.li/mfnak>

MANOSSO, F.; ONDICOL, R. P. **Geodiversidade: considerações sobre quantificação e avaliação da distribuição espacial**. Anuário do Instituto de Geociências, Vol. 35 - 1 / 2012 p.90-100.

PEREIRA, L. S.; FARIAS, T.S. Os Valores E Ameaças À Geodiversidade: Um olhar sobre João Pessoa-PB e Litoral Sul do Estado. **Revista da ANPEGE**, v. 12, n. 17, p. 141-166, 2016.

PRECIOZZI, F., MASQUELIN, H. e SANCHEZ, L. Geologia de la porción sur del Cinturón Cuchilla Dionisio. In: Primer Simposio Internacional Del Neoproterozoico/Cámbrico de La Cuenca Del Plata, La Paloma: 1993. Disponível em: <http://geotectonica.fcien.edu.uy/documentos/1993.pdf>

SANTOS, H.G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356p.

RAMOS, R. A.; MOURA, L. de A; BECKER, F. G. Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul. Ministério do meio Ambiente (MMA), Brasília, 2007. 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>

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** 112:91–106

RODRIGUES, S. C.; SILVA, T. I. Dam construction and loss of geodiversity in the Araguari river basin, Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 23, n. 4, p. 419-426, 2012.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 8, p. 63-74, 1994. DOI: 10.7154/RDG.1994.0008.0006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 7 maio. 2023.



SEIJMONSBERGEN, *et al.* Exploring Ocean Floor Geodiversity in Relation to Mineral Resources in the Southwest Pacific Ocean. **Resources**, v. 11, n. 7, p. 60, 2022.

SILVA, J.; BARRETO, H. Mapeamento dos Índices de Geodiversidade da Amazônia Legal Maranhense. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 1, p. 55–60, 2014.

TUKIAINEN, T. et al. Landscape of X chromosome inactivation across human tissues. **Nature**, v. 550, n. 7675, p. 244-248, 2017.

TOMAZELLI, L. J.; WILLWOCK, J. A. 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, 2000, p. 375-406.

WILDNER, W.; LOPES, R. C. Evolução Geológica: Do Paleoproterozóico ao recente. In: **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Org. VIEIRO, Ana Cláudia. SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da. CPRM, Porto Alegre, 2010, p.35-50. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14710>