



<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 25, n° 4 (2024)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v25i4.2600>

REVISTA BRASILEIRA
DE GEOMORFOLOGIA



UNIAO DA GEOMORFOLOGIA BRASILEIRA
UGB
BRAZILIAN GEOMORPHOLOGICAL UNION
Publicação da
UNIAO DA GEOMORFOLOGIA BRASILEIRA

Artigo de Pesquisa

Compartimentação hidrogeomorfológica em áreas úmidas costeiras - Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Brasil

Hydrogeomorphological Compartmentalization in Coastal Wetlands - Lagoa do Peixe National Park, Brazil.

Carina Cristiane Korb¹, Laurindo Antonio Guasselli², Tássia Fraga Belloli³, Christian Santana Cunha⁴, Amanda Letícia Bauer⁵, Caroline dos Santos Brückmann⁶

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

carinac.korb@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9954-2043>

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

laurindo.guasselli@ufrgs.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8300-846X>

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

tassiabellolif@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6365-7796>

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

christianscunha@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0755-6760>

⁵ Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Laboratório de Ictiologia, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.

amandaleticiabauer@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4193-7468>

⁶ Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Programa de Pós-Graduação em Biologia, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil.

carolbruckmannbio@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7383-9486>

Recebido: 17/07/2024; Aceito: 14/10/2024; Publicado: 23/12/2024

Resumo: Áreas úmidas costeiras são sistemas hidrogeomorfológicos com importantes funções ambientais. Apesar da sua declarada importância, análises hidrogeomorfológicas nestes ambientes ainda são pouco exploradas. O objetivo deste estudo foi estabelecer compartimentos hidrogeomorfológicos nas áreas úmidas do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP). Os métodos foram: (i) compartimentação geomorfológica (variação topográfica do FABDEM); (ii) definição de indicadores da paisagem (NDVI Sentinel-2, amostras de solo); (iii) análise da dinâmica hídrica. O modelo FABDEM foi eficiente para definir variações altimétricas e limites nos compartimentos geomorfológicos, nos setores norte e sul do PNL, a Paleofalésia da Barreira III e Dunas eólicas da Barreira IV e as áreas úmidas interdunas. A dinâmica hídrica é dependente da precipitação,

com maior lâmina de água aparente em períodos de El Niño. O NDVI nos compartimentos geomorfológicos mostrou diferenças relacionadas aos eventos La Niña e El Niño, com padrões espaciais distintos no Terraço Lagunar II, sítio da lagoa do Peixe. Os indicadores pedoambientais mostram o pH como elemento comum entre os compartimentos, e maiores concentrações de enxofre nos Terraços Lagunares (marismas). O corante a,a'-dipiridil indicou presença de ferro reduzido, característico de solos hidromórficos. Foram estabelecidos nove compartimentos hidrogeomorfológicos: Dunas eólicas, Franja Lagunar, Franja Lacustre, Lacustre, Lagunar-estuarino, Terraço Lacustre, Terraço Lagunar, Depressão e Encosta.

Palavras-chave: FABDEM; Indicadores Pedoambientais; Banhados; Lagoas Costeiras; Solos Hidromórficos.

Abstract: Coastal wetlands play crucial roles in environmental processes due to their hydrogeomorphological characteristics. Despite their recognized significance, hydrogeomorphological analyses in these ecosystems remain relatively unexplored. The aim of this study was to establish hydrogeomorphic compartments in the wetlands of Lagoa do Peixe National Park (PNLP). The methods used were: (i) geomorphological compartmentalization (topographic variation using FABDEM); (ii) definition of landscape indicators (Sentinel-2 NDVI, soil samples); (iii) analysis of hydrodynamic. The FABDEM model effectively identifies altimetric variations and compartment boundaries, including those in the northern and southern sectors of PNLN, the Paleocliff of Barrier III, the eolic dunes of Barrier IV, and the interdunal wetlands. Hydrodynamics depend on precipitation, with a greater apparent water level during El Niño periods. Additionally, we analyze NDVI variations within these geomorphological compartments during La Niña, Neutral, and El Niño events, observing distinct spatial patterns between Lagoon Terrace II the Lagoa do Peixe site. Pedoenvironmental indicators reveal common pH levels across compartments, with sulfur concentrations specifically observed in Lagoon Terraces (salt marshes). Furthermore, the a, a'-dipyridyl dye indicated the presence of reduced iron characteristic of hydromorphic soils. Water variation is dependent on precipitation, with a larger apparent water surface during Neutral and El Niño events. In total, we establish nine hydrogeomorphological compartments: Eolic Dunes, Lagoon Fringe, Lacustrine Fringe, Lacustrine, Lagoon-Estuarine, Lacustrine Terrace, Lagoon Terrace, Depression, and Slope.

Keywords: FABDEM; Pedoenvironmental indicators; Marshes; Coastal Lagoon; Hydromorphic Soils.

1. Introdução

As Áreas Úmidas (AUs) podem ser configuradas como sistemas hidrogeomorfológicos saturados por água em longo prazo (BROOKS et al., 2012; GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2017). Para Brinson (1993) a classificação hidrogeomorfológica é o ponto de partida em avaliações funcionais e determinação de impactos ambientais.

A dinâmica hídrica, os aspectos geomorfológicos e a vegetação interagem entre si e definem sua formação, características e funcionalidades (BRINSON, 1993, 2009; ABLAT et al., 2021). Esses componentes são a chave de interpretação hidrogeomorfológica (MONTANÉ et al., 2016). Há ampla variedade de características do regime hidrológico relacionadas a frequência, duração, magnitude, localização e fontes de suprimento de água, que exercem influência dominante no desenvolvimento de solos hidromórficos e/ou de uma vegetação adaptada (NRC, 1995; MITSCH; GOSSELINK, 2015; GOMES, 2017).

Abordagens hidrogeomorfológicas no estudo de AUs têm sido avaliadas em Semeniuk (1987), Semeniuk e Semeniuk (1995; 2011), Brinson (1993; 1998; 2009), Smith et al. (1995). As AUs têm sido investigadas no contexto da hidrogeomorfologia na Bahia (SOARES; LANDIM DOMINGUEZ, 2012); em Minas Gerais (GOMES, 2017, 2023; OLIVEIRA, 2021; GUIMARÃES, 2023); na Chapada do Araripe entre os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí (SILVA; SOUZA; GUERRA, 2024); no Rio Grande do Norte (SILVA; COSTA, 2022). No cenário internacional investigações têm sido realizadas na China (ASLAM et al., 2003; SINGH; SINHA, 2021; ZHOU et al., 2023), na França (MONTANÉ, 2014; MONTANÉ et al., 2016), nos Estados Unidos (BACKHAUS, 2022; HE et al., 2023). Também tem sido adotada em inventários nacionais como, na Austrália Ocidental (SEMENIUK; SEMENIUK, 1995; 2011), na África do Sul (OLLIS et al., 2013), na Colômbia (RICAURTE et al., 2019) e na Argentina (MALVÁREZ; BÓ, 2004).

A flutuação dos níveis hidrológicos é uma característica importante das AUs. No entanto, a alteração de padrões climáticos e hidrológicos, comuns em episódios de El Niño e La Niña (ILYAS et al., 2019), podem causar, direta ou indiretamente, stress hídrico, seja por inundações ou estiagens (HARRISON et al., 2018; COUROUBLE et al., 2021; XI et al., 2021). Variações hidrológicas extremas podem causar modificações nos ciclos biogeoquímicos, impactando as funções das AUs. Nesse sentido, a caracterização de AUs por meio de critérios hidrogeomorfológicos permite conhecer as condições de saúde destes ecossistemas (SINGH; SINHA, 2021).

Sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas fundamentais na investigação, mapeamento e classificação de AUs, recomendadas pela Convenção de Ramsar (ARTIGAS; YANG, 2006; LOWRY et al., 2007; KLEMAS, 2008; DVORETT; DAVIS; PAPES, 2016; CUNHA-SANTINO et al., 2023). As resoluções radiométrica, espectral e temporal dos satélites da série Landsat e Sentinel (SHARPE; KNEIPP; FORGET, 2016; KAPLAN; AVDAN, 2017; MOHSENI et al., 2023), bem como os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) estão entre os dados de sensoriamento remoto frequentemente adotados na investigação hidrogeomorfológica (HAWKER et al., 2022; DUSSEAU; ZOBEL; SCHWALM, 2023; BIELSKI et al., 2024).

As AUs costeiras e interiores têm como característica principal o impedimento permanente ou temporário de drenagem, o que produz ambientes adaptados às condições de alta umidade durante a maior parte do ano (MITSCH; GOSELINK, 2015). Os serviços ecossistêmicos das AUs incluem habitat e alimento à fauna (WANG et al., 2020), regulação climática, retenção de carbono (MITSCH; GOSELINK, 2015), proteção costeira, sustentação de práticas culturais (WITTMANN et al., 2015). Os valores ambientais dos serviços prestados pelas AUs dependem da sua localização (MITSCH; GOSELINK, 2000), onde as características hidrológicas e geomorfológicas dominantes delimitam a unidade espacial reconhecida como compartimento hidrogeomorfológico (BRINSON, 1993; SMITH et al., 1995; BRINSON et al., 1998). Para Bisson e Lehr (2004), Babar (2005) e Alves (2020) zonas ripárias, vertentes, sistemas fluviais, lacustres, lagunares e as variadas tipologias de AUs, constituem objeto de estudo da hidrogeomorfologia.

O Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP) se encontra na Planície Costeira, em terrenos com baixa elevação em relação ao nível do mar. A lagoa do Peixe, feição geomorfológica do tipo laguna, de água doce à salobra, possui ligação direta e sazonal com o Oceano Atlântico, e forte tendência à segmentação morfológica devido à ação dos ventos (SCHÄFER et al., 2013). A variabilidade e mobilidade do ambiente em curtos períodos, em função das condições meteorológicas e da modificação acelerada da paisagem pela ação do vento, são características marcantes da região (TAGLIANI et al., 1992).

Devido à sua importância ambiental, essa região tem sido objeto de estudos predominantemente no âmbito da biologia (ROLON; ROCHA; MALTCHIK, 2011; COSTA, 2015; GARCIA et al., 2017), da geologia, geomorfologia e climatologia costeiras (AREJANO, 2006; SBRUZZI; FONSECA; SALDANHA, 2015; SCHOSSLER, 2011, 2016; MANZOLLI et al., 2023). Mas, apesar da declarada importância dos ecossistemas de AUs do PNL e de sua fragilidade frente às mudanças climáticas e ambientais, há falta de inventários e mapeamentos com informações sobre extensão, conservação ou tipos de AUs, e de planos de monitoramento para médio ou longo prazo. Desse modo, destaca-se a importância do desenvolvimento de abordagens capazes de suprir as demandas de conservação das AUs.

A aplicação da abordagem hidrogeomorfológica em AUs costeiras ainda é pouco explorada. Isso se deve a um conjunto de fatores: investigações focadas na perspectiva biológica ou ecológica, desafios na delimitação de compartimentos em áreas de morfologia muito plana e a emergência da hidrogeomorfologia em estudos costeiros. A compartimentação hidrogeomorfológica de AUs possibilita uma análise mais detalhada desses ecossistemas, permitindo identificar características locais que afetam a ecologia, a dinâmica hídrica e a suscetibilidade a eventos extremos. Isso não apenas aprimora o entendimento da funcionalidade e da saúde dos ecossistemas, mas também auxilia na formulação de estratégias de conservação mais eficazes e adaptadas às condições específicas de cada compartimento. Neste contexto, frente aos desafios em definir compartimentos hidrogeomorfológicos em AUs costeiras e a necessidade de mais estudos nesta temática, esse trabalho tem como objetivo estabelecer compartimentação hidrogeomorfológica no Parque Nacional da Lagoa do Peixe, na Planície Costeira do estado do Rio Grande do sul, Brasil.

2. Área de Estudo

O Parque Nacional da Lagoa do Peixe (Figura 1), está situado nos municípios de Mostardas e Tavares, no segmento médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), entre a lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico. É uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral, criada pelo Governo Federal em 1986 para preservar ambientes de relevância ecológica e beleza cênica. Em 1993, foi reconhecido como Sítio Ramsar (Zona Úmida de Importância Internacional) por sua importância para a conservação das AUs, ecossistemas litorâneos e habitat para aves migratórias. Em 1999, passou a compor a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e, atualmente, faz parte da Rede Hemisférica de Reservas para Aves Limícolas.

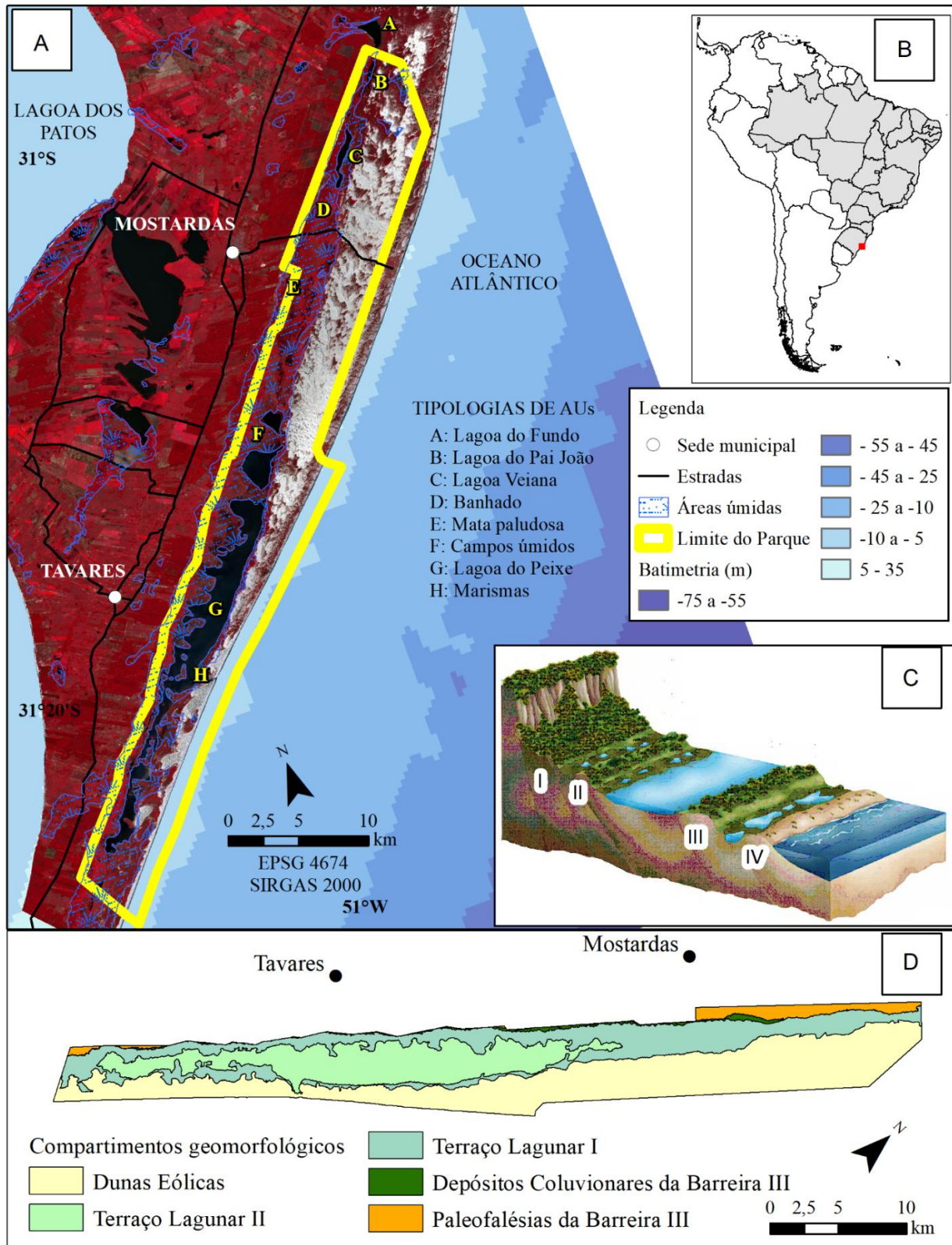


Figura 1. (A) e (B) Localização do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, e tipologias de AUs; (C) Modelo geológico de formação do Sistema Laguna-Barreira; (D) Compartimentos geomorfológicos. Fontes: Composição colorida R8G4B3 Sentinel 2; Arejano (2006); Schäfer, Lanzer e Scur (2013); IBGE (2023); ICMBio (2024); Ramos et al. (2015).

A formação geológica da PCRS remonta aos episódios transgressivo-regressivos do Quaternário (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000), que formaram depósitos de Sistema Laguna-Barreira, três de idade pleistocênica (I, II e III) e um de idade holocênica (IV). Neste processo evolutivo, houve acúmulo de água nas depressões interdunas, o que deu origem às lagoas/lagunas costeiras e banhados (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000; SCHÄFER; LANZER; SCUR, 2013). A morfologia plana reflete as mudanças paleoambientais do Quaternário. Conforme Arejano (2006) são encontradas no Parque as seguintes feições geológico-geomorfológicas: Paleofalésia da Barreira III; Depósitos Coluvionares da Barreira III; Terraço Lagunar I; Terraço Lagunar II; Dunas eólicas da Barreira IV, (Figura 1D). Terraços lagunares e depósitos eólicos (dunas) cobrem aproximadamente 80% da área do Parque. Os banhados e a lagoa do Peixe ocupam o espaço interdunas entre as barreiras III e IV.

As feições geológico-geomorfológicas configuram uma extensa planície arenosa, de topografia plana e baixa altimetria. As maiores cotas estão representadas pela Paleofalésia da Barreira III e pelas Dunas eólicas da Barreira IV. A Paleofalésia, terraço constituído de sedimentos marinhos e eólicos, de idade pleistocênica, se alarga gradativamente de sul para norte, com altimetria entre 7 e 21 m (KNAK, 1999). As dunas costeiras são proeminentes na área, orientadas perpendicularmente à direção dos ventos nordeste (NE) (MORAES, 2009). Atingem alturas superiores a 15 m e variam ao longo da costa do Parque com larguras do campo de dunas atingindo um máximo de 5 km ao norte e um mínimo de 0,70 km ao sul (MANZOLLI et al., 2023).

Predominam Plintossolo Argilúvico, Neossolo Quartzarênico e, em maior expressão, Gleissolo Melânico. Os Gleissolos Melânicos são solos minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de constituição argilosa, argilo-arenosa e arenosa, do Holoceno (STRECK et al., 2008). Na área do Parque, Gleissolos ocupam os Terraços Lagunares I e II. A hidrogeologia constitui o Aquífero Quaternário Costeiro I (MACHADO; FREITAS, 2005), composto por uma sucessão de camadas arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média, esbranquiçadas, intercaladas com camadas siltico-arenosas e argilosas, de porosidade e permeabilidades altas e intergranular, de boa vazão nos poços (MACHADO; FREITAS, 2005; MARCUZZO; SIMON; KIRCHHEIM, 2014).

A lagoa do Peixe periodicamente se conecta com o Oceano e, juntamente com as lagoas Veiana, Pai João e do Fundo, formam o sistema hídrico do Parque. As AUs ocupam os Terraços Lagunares e parte dos Depósitos Coluvionares da Barreira III, cobrindo 47 % da área total do PNL. São representadas por corpos lagunares, campos úmidos, mata paludosa, marismas e banhados. Estão distribuídas em todos os compartimentos geomorfológicos e são suscetíveis aos pulsos de inundação associados à precipitação (KORB et al., 2023).

O volume de chuvas na região está condicionado principalmente às chuvas frontais, originadas do encontro das massas de ar Tropical marítima (mT) e Polar marítima (mP), e varia entre 1200-1500 mm anuais. As temperaturas médias mínimas e máximas variam entre 11°C e 26°C (ROSSATO, 2020). A área de estudo também sofre influência de anomalias de precipitação associadas a fenômenos de variabilidade climática El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM) que podem se correlacionar (REBOITA; AMBRIZZI; ROCHA, 2009; SCHOSSLER, 2016). As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, com maiores totais pluviométricos no inverno e na primavera, e maiores acumulados no mês de setembro (Tabela 1). Contudo, em anos de El Niño ocorrem chuvas acima da normal climatológica (NC), enquanto desvios negativos ocorrem em La Niña (FONTANA; BERLATO, 1997; BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2008; RODRIGUES, 2015; SBRUZZI, FONSECA; SALDANHA, 2015). Em períodos de La Niña ocorre a redução quase total da lâmina d'água na lagoa do Peixe.

Tabela 1. Médias mensais da precipitação pluviométrica, série histórica entre 1992 e 2023, no PNL.

Meses	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
(mm)	112,8	111,0	99,8	114,4	123,4	110,6	137,2	106,2	154,8	124,0	80,4	92,2

Fonte: Dados CHIRPS.

A cobertura vegetal é composta por Formações Pioneiras, ou Restinga (SCHÄFER; LANZER; SCUR, 2013), com influência marinha e lacustre. Sobre as dunas predominam espécies herbáceas, e sobre os Terraços Lagunares e a Paleofalésia da Barreira III, espécies arbóreas, paludosas e herbáceas (KNAK, 1999; IBGE, 2023). Também ocorrem extensas áreas de silvicultura de *Pinus* spp., espécie invasora, que se dissemina sobre os terrenos arenosos do Parque (SIGNORI, 2018).

2. Materiais e Métodos

2.1. Aquisição de Base de Dados

Foram adquiridas as seguintes bases cartográficas: (a) mapeamento das AUs da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (RAMOS et al., 2015); (b) delimitação das lagoas do Peixe, Veiana e Pai João da Base Cartográfica do Rio Grande do Sul, na escala 1:25.000 - BCRS25, de 2018, da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA-RS, 2006); (c) limite do PNL do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), escala 1:250.000; (d) mapa de solos, de vegetação e de limites políticos do Banco de Dados e Informações Ambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), escala 1.250.000; (e) mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul do Serviço Geológico do Brasil (SGB), escala 1:750.000; (f) mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (MACHADO; FREITAS, 2005), escala 1:750.000; (g) levantamento aerofotogramétrico, escalas 1:60.000, de 1964, e 1:110.000, de 1975, da Biblioteca do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; (h) dados de precipitação do produto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), utilizando estruturas de códigos em linguagem Javascript na plataforma Code Editor do Google Earth Engine (GEE); (i) dados de evapotranspiração do produto Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), MOD16A2GF, obtidos na plataforma do GEE.

O CHIRPS tem resolução espacial de 0,05°; aproximadamente 5 km, próximo a linha do Equador, cobertura geográfica de 50°S a 50°N, dados de 1981 até os dias atuais. Disponível em conjuntos de dados diários, em pântadas e dados mensais, em UCSB1 em formato NetCDF, GeoTiff e Esri BIL. Os dados de precipitação do CHIRPS para o Brasil, apresentam correlação linear alta entre dados do Instituto Nacional de Meteorologia, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INMET/CPTEC) e CHIRPS (95,4 %), com correlação linear média entre os dados de 97 % (COSTA et al., 2019).

A evapotranspiração terrestre MOD16 é calculada com base na equação de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965) e considera a evaporação do solo úmido e molhado, a evaporação da água interceptada pela copa e a transpiração da água dos estômatos na folha (MU; ZHAO; RUNNING, 2011).

No mapeamento altimétrico foram testados dois Modelos Digitais de Elevação globais (DEM): (1) o Forest And Buildings Removed Copernicus (FABDEM) (HAWKER; NEAL, 2021), disponível pela University of Bristol; (2) o DilluviumDEM disponível no repositório Zenodo (DUSSEAU; ZOBEL; SCHWALM, 2023).

O FABDEM versão 1.0 com 1' (aproximadamente 30 m), não possui viés de altura de edifícios urbanos e florestas. Esses elementos foram removidos por meio de aprendizado de máquina de floresta aleatória do Modelo Digital de Superfície (DSM) Copernicus GLO-30 (COP30) (AIRBUS, 2020), reduzindo o erro vertical absoluto médio em áreas construídas de 1,61 para 1,12 m, e em florestas de 5,15 para 2,88 m (HAWKER et al., 2022).

O DiluviumDEM é um DEM desenvolvido para áreas costeiras, com 1' (aproximadamente 30 m). Derivado do COP30, os erros verticais foram corrigidos por algoritmo de aprendizado de máquina, conferindo maior precisão quando comparado a outros DEMs globais como FABDEM, COP-30, COASTALDEM. Contudo, o viés de altura de edifícios urbanos e vegetação foram mantidos. DiluviumDEM possui um RMSE estimado de 1,13 m para áreas costeiras com elevações menores que 2 m acima do nível médio do mar (DUSSEAU; ZOBEL; SCHWALM, 2023).

Utilizando ferramentas do GEE, foram adquiridas imagens Sentinel-2, sensor MSI (multispectral instrument), 10 m de resolução espacial, nas bandas 2, 3, 4 e 8, com correção atmosférica e ortorretificadas. Foram coletadas imagens entre 01.01.2019 e 18.04.2024, contemplando eventos de El Niño, La Niña e anos Neutros, com base nos dados do Centro de Previsão Climática da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2024).

2.2 Aquisição de Indicadores da Paisagem

Na plataforma do GEE foi gerada uma série temporal de imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada NDVI, (Equação 1):

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (1)$$

Em que:

ρ_{IVP} é a bandas do infravermelho próximo (banda 8 / Sentinel-2);

ρ_V é a banda do vermelho (banda 2 / Sentinel-2).

Varia entre -1 e 1. Valores negativos de NDVI correspondem a água; valores próximos de 0 correspondem a superfície não vegetada ou vegetação sujeita a stress hídrico devido ao déficit hídrico do solo; e próximo de 1, vegetação de maior vigor (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015).

O NDVI foi desenvolvido por Rouse et al. (1973), e explora o contraste que a vegetação apresenta em sua resposta espectral, entre a reflectância na região do infravermelho próximo e a absorção pela clorofila na região do vermelho (CORDEIRO, 2014), favorecendo a análise das condições da vegetação (MAGALHÃES et al., 2023). Padrões de NDVI também revelam a associação com a quantidade de água no solo, e têm sido utilizados como indicadores de atividades hidrogeomorfológicas (MARCHETTI et al., 2013, 2016, 2020; LUAN et al., 2018; TERAMOTO et al., 2018; GANI et al., 2022).

Também foram coletados em campo dados de NDVI utilizando o sensor GreenSeeker Hndheld, equipamento baseado em sensoriamento remoto óptico de fonte de luz ativa, que utiliza dados de emissão de radiação nas faixas do vermelho (650 nm) e infravermelho próximo (770 nm). A leitura da reflectância é calculada por um microprocessador interno, fornecendo o valor de NDVI, que é transmitido a um computador portátil adaptado ao sensor. Os pontos de coleta foram os mesmos da amostragem de solos (Tabela 2).

Como indicadores pedoambientais, coletamos amostras de solos com pontos distribuídos por compartimentos geomorfológicos (Figura 2, Tabela 2), em áreas representativas das tipologias de AUs, em perfis com profundidades de 60 a 80 cm, quando possível. No total foram coletadas 32 amostras de solos, com ao menos duas coletas por compartimento geomorfológico, verificadas previamente a partir da base SIG do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA) do IBGE. As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise de Solos (LABSOLOS) da Faculdade de Agronomia da UFRGS, para identificação dos seguintes componentes: matéria orgânica, potencial hidrogeniônico (pH), enxofre (S) e análise de granulometria. A matéria orgânica, o pH e o S representam os principais elementos do hidromorfismo de solos em regiões costeiras e de relevo acentuadamente plano (CANELLAS et al., 2008; NETO, 2010; AMENDOLA, 2017; SANTOS, 2023).

Indicadores de solos hidromórficos, como a presença de óxidos de ferro, foram utilizados para auxiliar na interpretação da pedogênese, do intemperismo e da biogeoquímica do ferro de solos com influência do hidromorfismo (NETO, 2010). A presença de solos hidromórficos foi verificada em campo utilizando uma solução indicadora para o ferro reduzido (Fe_{+2}), aplicando solução corante com a,a'-dipiridil (CHILDS, 1981; CAMPOS et al., 2003; SANTOS et al., 2018; SCHULZ et al., 2021). Se o Fe_{+2} estiver presente na amostra, a coloração varia de rosa a vermelho (Figura 3B).

Para complementar a caracterização hidromórfica, verificamos a presença de água parada ou vertendo e de espécies de vegetação indicadoras de AUs. A variação hídrica dos compartimentos foi analisada através de uma abordagem integrada combinando interpretação visual de imagens de satélite em diferentes períodos climáticos e observações diretas no local, e obter a compreensão das mudanças temporais nas condições hídricas.

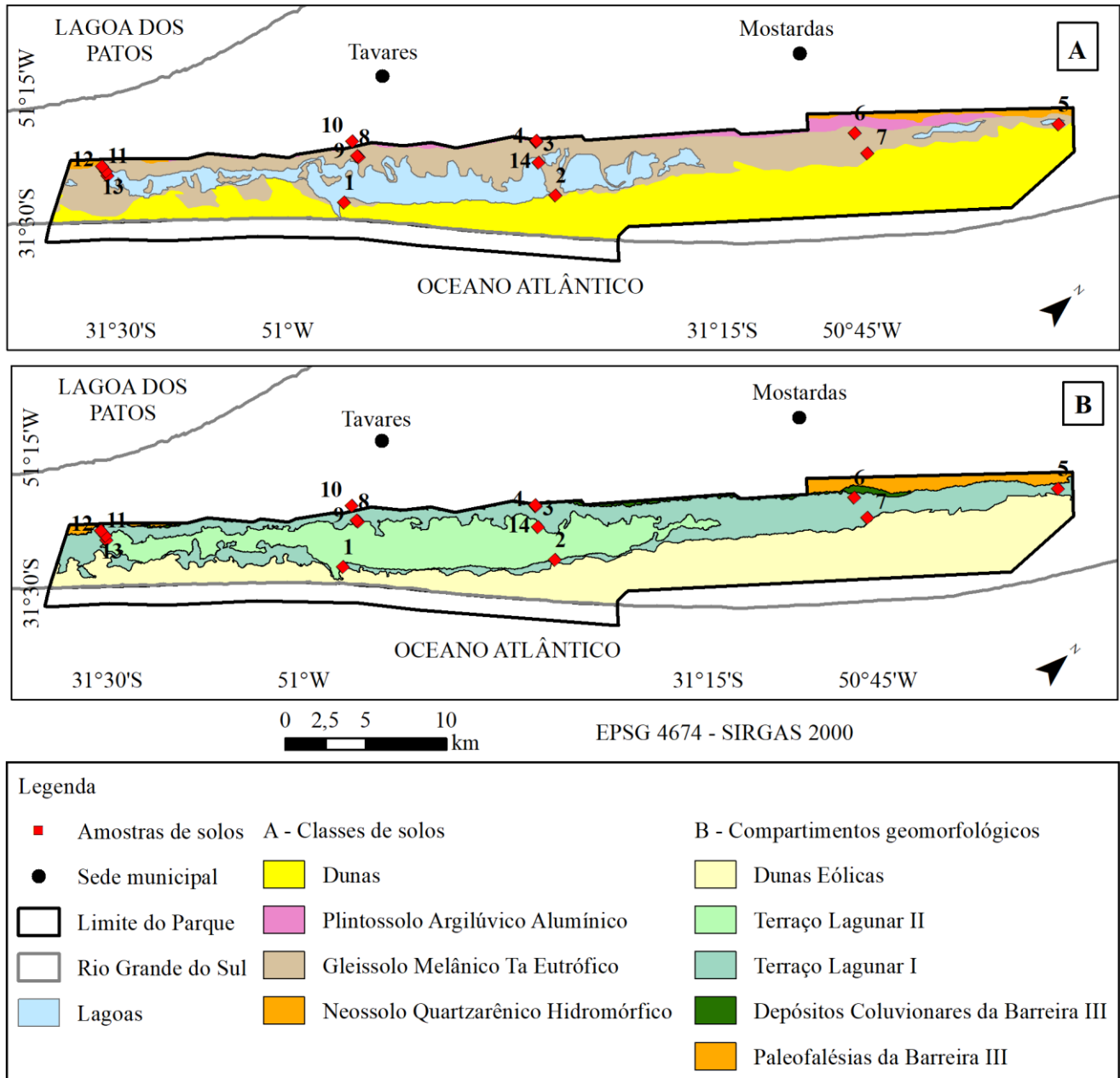


Figura 2. Distribuição espacial das amostras de solos por: (A) classes de solos; (B) compartimentos geomorfológicos. Fontes: Arejano (2006); IBGE (2024); ICMBio (2024)

Tabela 2. Coordenadas geográficas das amostras de NDVI, obtidos em campo com GreenSeeker, e de solos, por compartimento geomorfológico e classe de solo.

Amostra	Longitude	Latitude	Compartimento geomorfológico	Classe de solo
1	-51,047330	-31,352647	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
2	-50,958490	-31,261730	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
3	-50,981660	-31,256510	Terraço Lagunar II	Gleissolo Melânico
4	-50,992580	-31,249860	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
5	-50,774220	-31,025920	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
6	-50,858490	-31,114220	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
7	-50,843110	-31,116260	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
8	-51,062660	-31,329460	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
9	-51,063950	-31,329620	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
10	-51,073226	-31,326190	Terraço Lagunar II	Plintossolo Argilúvico Alumínico
11	-51,163840	-31,440810	Terraço Lagunar II	Gleissolo Melânico
12	-51,166390	-31,439880	Terraço Lagunar I	Gleissolo Melânico
13	-51,170790	-31,439620	Paleofalésia da Barreira III	Gleissolo Melânico
14	-50,993429	-31,249375	Depósitos coluvionares da Barreira III	Gleissolo Melânico



Figura 3. Aferição de solo hidromórfico: A) amostragem com trado; B) aplicação de a,a'-dipiridil, indicador pedoambiental de solos hidromórficos. Foto: dos autores.

2.3 Identificação dos Compartimentos Hidrogeomorfológicos

Para a identificação foram adotadas como referências: (a) a classificação hidrogeomorfológica de AUs de Brinson (1993) e Smith et al. (1995); (b) o reconhecimento das tipologias de AUs de Cunha, Piedade e Junk (2015).

Uma análise prévia da definição dos compartimentos altimétricos, a partir dos modelos FABDEM e DilluviumDEM, e considerando as características planas do relevo, mostrou que o FABDEM conseguiu expressar melhor a definição dos limites dos compartimentos hidrogeomorfológicos.

Para a interpretação dos compartimentos foram considerados: (a) a compartimentação geomorfológica de Arejano (2006); (b) a posição das AUs na paisagem; (c) a geologia, o tipo de solo, a dinâmica hídrica, a hidrogeologia e a vegetação; (d) as curvas de nível com intervalo de 1 m e o mapa hipsométrico do FABDEM; (e) as fotografias aéreas de 1964 e 1975 da Divisão de Serviço Geográfico do Exército (DSG); (f) as imagens Sentinel-2 (07.08.2021; 03.02.2022; 20.11.2023; 18.04.2024), em composição colorida R4G3B2; (g) os trabalhos de campo (04 a 05/04/2023; 24 a 26/02/2024), para validação dos resultados.

A compartimentação hidrogeomorfológica foi estabelecida a partir de interpretação visual utilizando imagens de satélite, da variação topográfica e curvas de nível, das fotografias aéreas, das imagens de NDVI, com escala fixada em 1:200.000, no ArcGis Pro. Os compartimentos e sistemas hidrogeomorfológicos foram aferidos em

trabalhos de campo, verificadas a presença de água parada ou vertendo, as espécies indicadoras de AUs, as características da morfologia, a variação altimétrica e os padrões da paisagem.

3. Resultados

3.1. Variação Topográfica

Destaca-se, entre os padrões da paisagem do Parque, uma extensa área plana que ocupa a área interdunas, entre a Paleofalésia da Barreira III e as Dunas eólicas da Barreira IV, com predomínio de cotas altimétricas de até 5 m. A variação altimétrica no PNLP (Figura 4) e os perfis topográficos (Figura 5) obtidos do Modelo Digital de Elevação FABDEM mostram que essa área é suavemente rebaixada em relação ao entorno. Essa área abriga um sistema hidrogeomorfológico composto por campos úmidos, banhados, corpos lagunares e marismas, cujo fluxo hídrico é condicionado pelos compartimentos geomorfológicos de maior elevação: a Paleofalésia da Barreira III e as Dunas eólicas da Barreira IV (Figura 5).

Distinguem-se também variações altimétricas entre os setores norte e sul do PNLP. Entre o canal da lagoa do Peixe e o extremo norte, no entorno de parte dos terraços lagunares, estendem-se os cordões de dunas eólicas atuais e parte da Paleofalésia da Barreira III. Nesta área, as altitudes podem superar os 15 m. Ao sul do canal, a altimetria diminui, predominando altitudes inferiores a 5 m.

A lagoa do Peixe é caracterizada por sua baixa profundidade, em média 30 cm, embora possa atingir 2 m na área próxima à sua desembocadura no Oceano (PORTZ; GUASSELLI; CORRÊA, 2011; SCHOSSLER; TOLDO JR.; DANI, 2017).

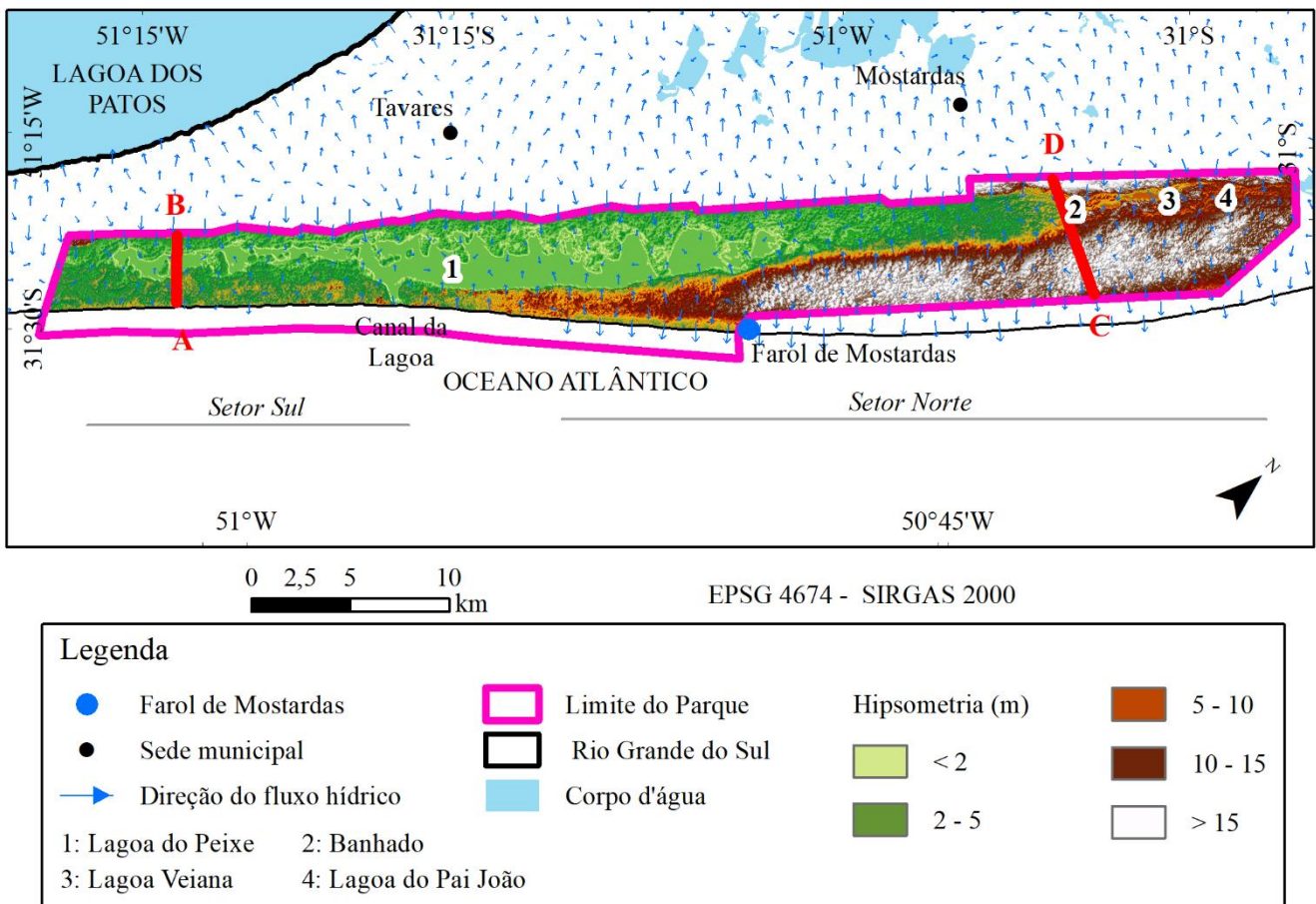
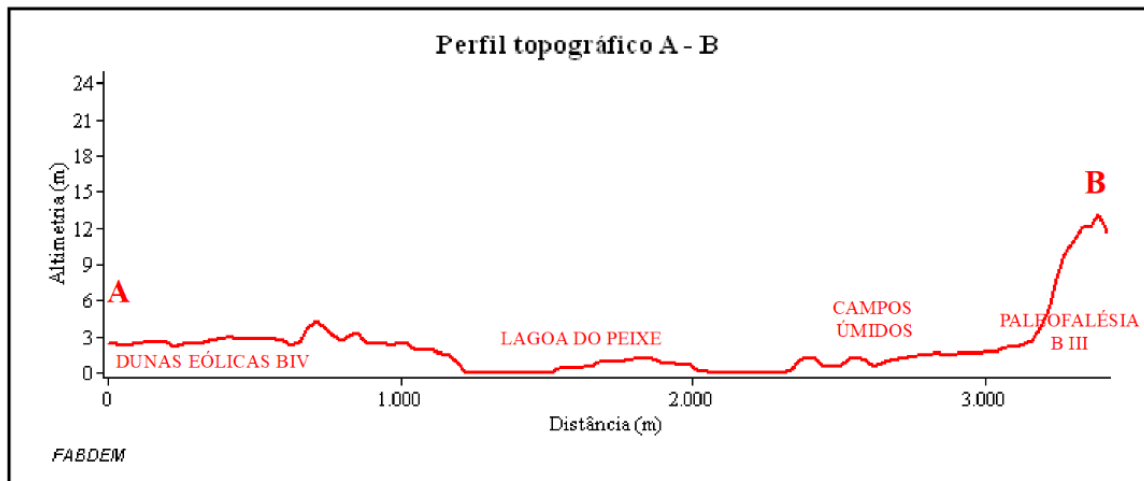


Figura 4. Hipsometria do PNLP. Fontes: FABDEM (2023); ICMBio (2024); IBGE (2024).

SETOR SUL (Perfil A-B)



SETOR NORTE (Perfil C-D)

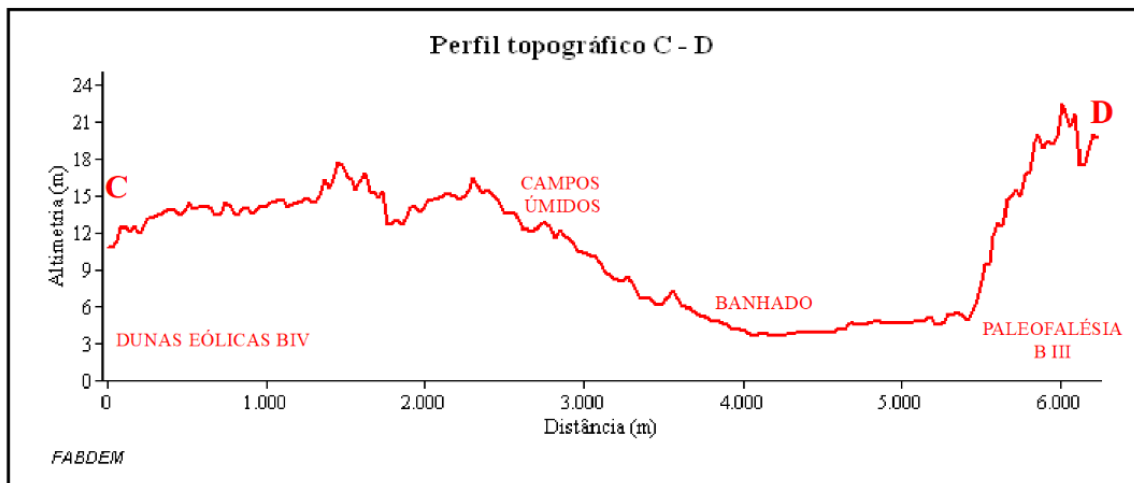


Figura 5. Perfis topográficos do PNLP, Setor Sul (Perfil A-B) e Setor Norte (Perfil C-D). Fontes: FABDEM (2023).

3.2. Dinâmica Hídrica

A variação da lâmina da água da lagoa do Peixe, nas imagens em diferentes condições hídricas (Figura 6), é resultado da variabilidade climática atrelada ao ENOS, em La Niña (Figura 6A) e em El Niño (Figura 6B). A imagem de 03 de fevereiro de 2022 (Figura 6A) representa um longo período com forte predomínio de La Niña. Nesse período, ocorreu uma contínua redução na precipitação e aumento no déficit hídrico, resultando na extrema redução da lâmina de água das AUs, especialmente da lagoa do Peixe, no Terraço Lagunar II, expondo o fundo lagunar.

Apesar dessa redução, os banhados e as lagoas Veiana e Pai João, ao norte do parque, ainda permanecem com níveis hídricos influenciados pela proximidade do lençol freático. As AUs situadas ao norte da lagoa do Peixe, sobre o Terraço Lagunar I, os Depósitos Coluvionares e as Paleofalésias da Barreira III, em cotas ligeiramente superiores, contribuem para a recarga das AUs a jusante (lagoa do Peixe e campos úmidos). Ao manter lâmina de água aparente, mesmo em períodos de déficit hídrico, marcadamente na fase de La Niña, as lagoas do Pai João e Veiana, e o banhado atuam como reguladores hidrológicos da paisagem.

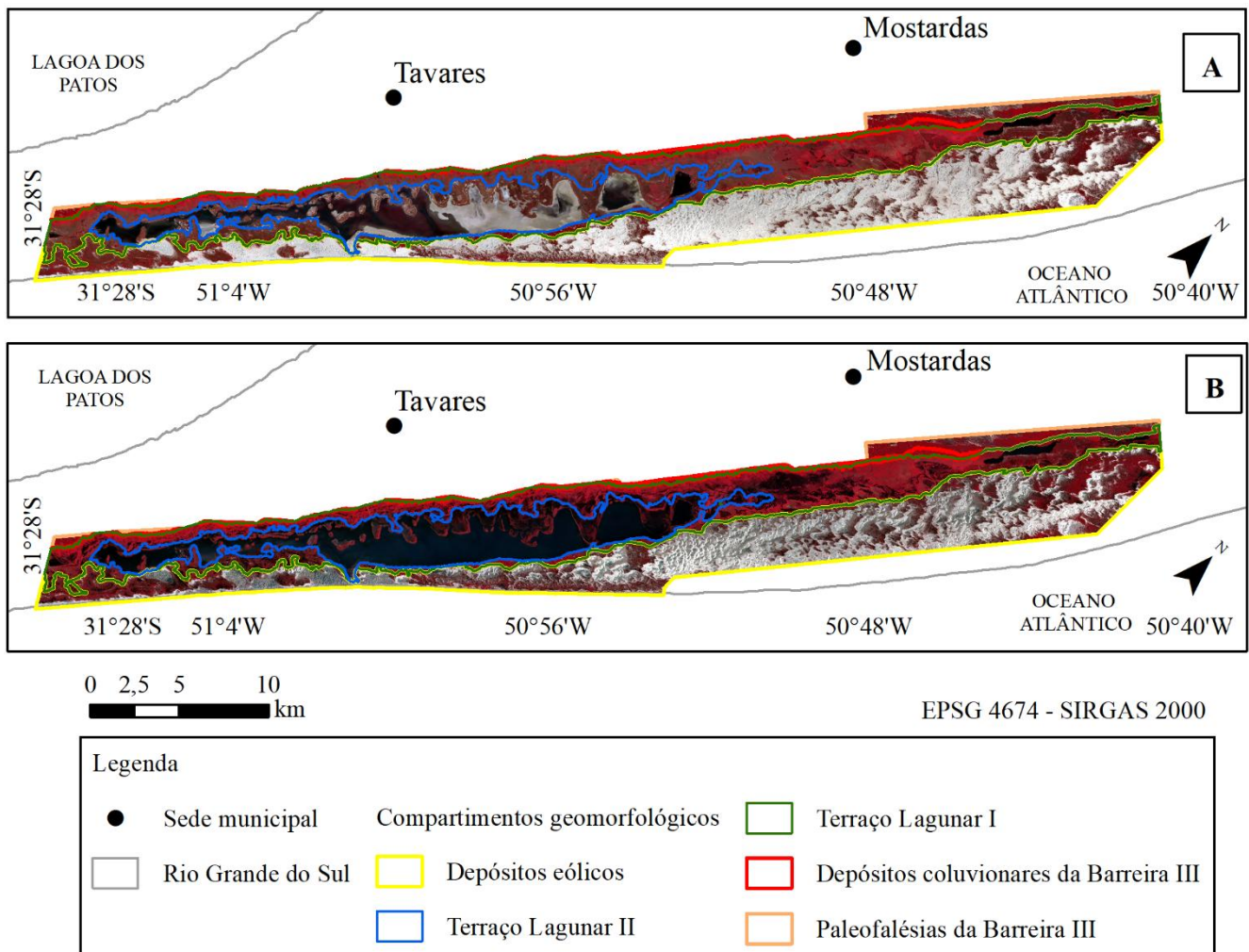


Figura 6. Imagens evidenciando a dinâmica hídrica em diferentes condições pluviométricas: A) La Niña, 03.02.2022; B) El Niño, 18.04.2024, na lagoa do Peixe. Fontes: Composição colorida R8G4B3 Sentinel 2; Arejano (2006).

A imagem de 18 de abril de 2024 (Figura 6B) representa a dinâmica hídrica das AUs em período de El Niño. A maior presença da lâmina de água sobre os compartimentos, inunda especialmente os Terraços Lagunares I e II. Em 2024 os totais pluviométricos atingiram 487 mm, somente no mês de abril foram 251 mm, contribuindo para o acúmulo hídrico e a conectividade entre as AUs nesse compartimento geomorfológico.

3.3. NDVI

A coleção de imagens obtidas no GEE, utilizada para calcular o comportamento do NDVI (Figura 7), abrangeu condições pluviométricas associadas à variabilidade climática (El Niño e La Niña) e meses de neutralidade. Essa variabilidade mostra que (a) em 2019, os valores de NDVI refletiram período de El Niño e de neutralidade; (b) em 2020, neutralidade e ocorrência de La Niña; (c) em 2021, La Niña e condições neutras; (d) em 2022, La Niña; (e) em 2023, La Niña, neutralidade e El Niño; em (f) 2024, condições de El Niño.

O NDVI médio (Figura 7) mostra que os compartimentos Paleofalésias e o Terraço Lagunar II apresentaram maior variação em relação à precipitação e as fases El Niño e La Niña. A Paleofalésia, área de maior densidade de cobertura vegetal, mostra também variação em relação às estações do ano. Mas, a maior variação de NDVI ocorre no Terraço Lagunar II, com a redução do nível das águas das AUs, em período de La Niña, o padrão de resposta da lâmina de água passa a ser a de solo exposto. Entretanto, nas áreas do Terraço Lagunar I era esperado a maior variação, devido a cobertura de campos de reduzida biomassa e a influência dos solos arenosos na resposta espectral, o que não ocorreu.

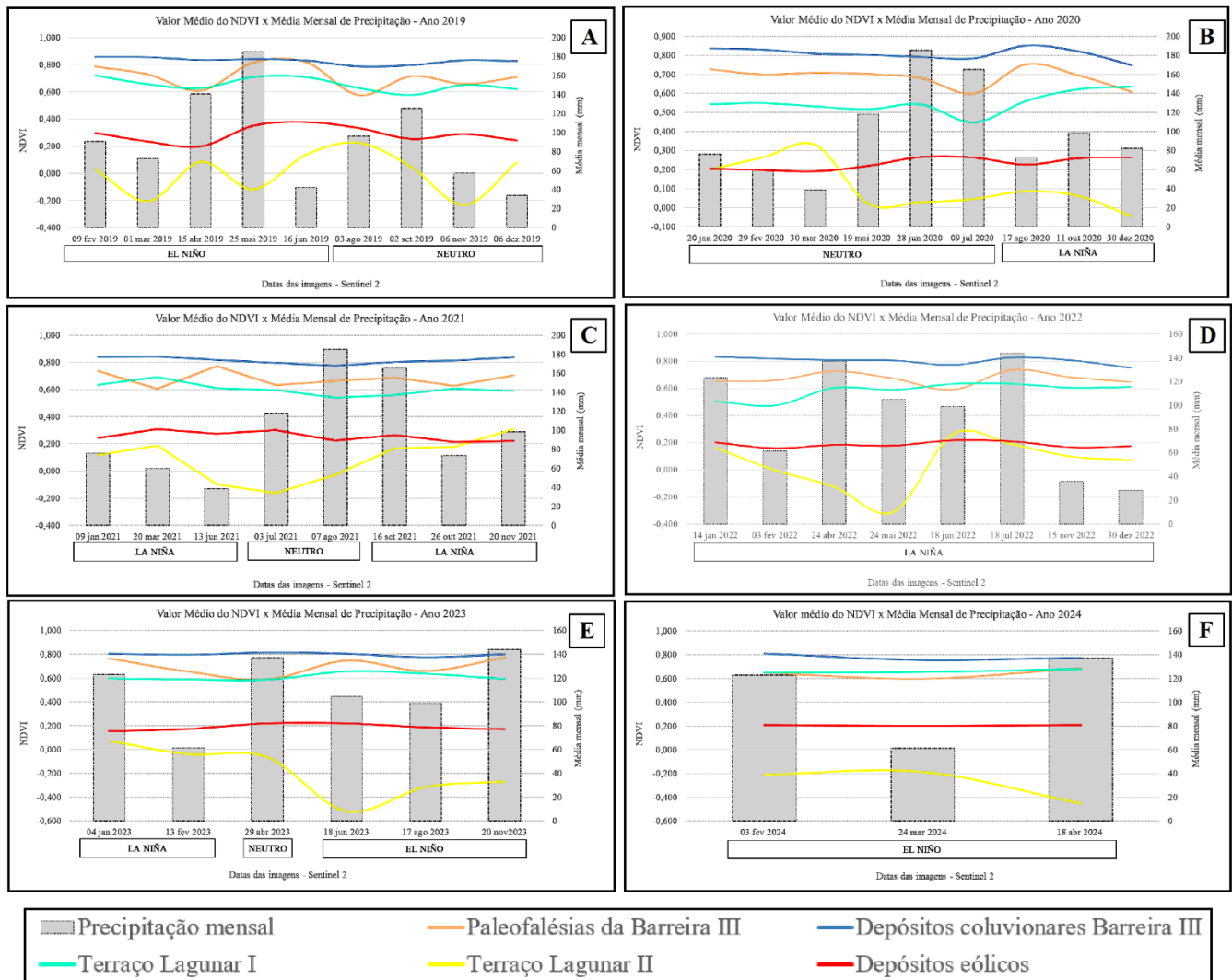


Figura 7. Valor médio do NDVI e médias mensais de precipitação, por compartimentos geomorfológicos: A) Ano de 2019; B) Ano de 2020; C) Ano de 2021; D) Ano de 2022; E) Ano de 2023; F) Ano de 2024.

A Figura 8 mostra as variáveis estimadas, relacionadas a precipitação, a evapotranspiração, ao balanço hídrico e a variação do NDVI das AUs do PNLP. Eventos de El Niño causam anomalias positivas na precipitação, principalmente durante a primavera e o verão, resultando em balanço hídrico positivo (Figura 8). Durante La Niña, ocorre redução da precipitação, stress hídrico na vegetação, aumento da evapotranspiração e consequente déficit hídrico nas AUs (Figura 8), especialmente na primavera e no verão (Figura 7D).

Destaca-se, que a diminuição nos valores de NDVI só vai ocorrer após um longo período de redução da precipitação e do balanço hídrico. Esse retardo está relacionado ao relevo muito baixo e a proximidade do lençol freático, o que permite maior resiliência dos campos úmidos nessas áreas.

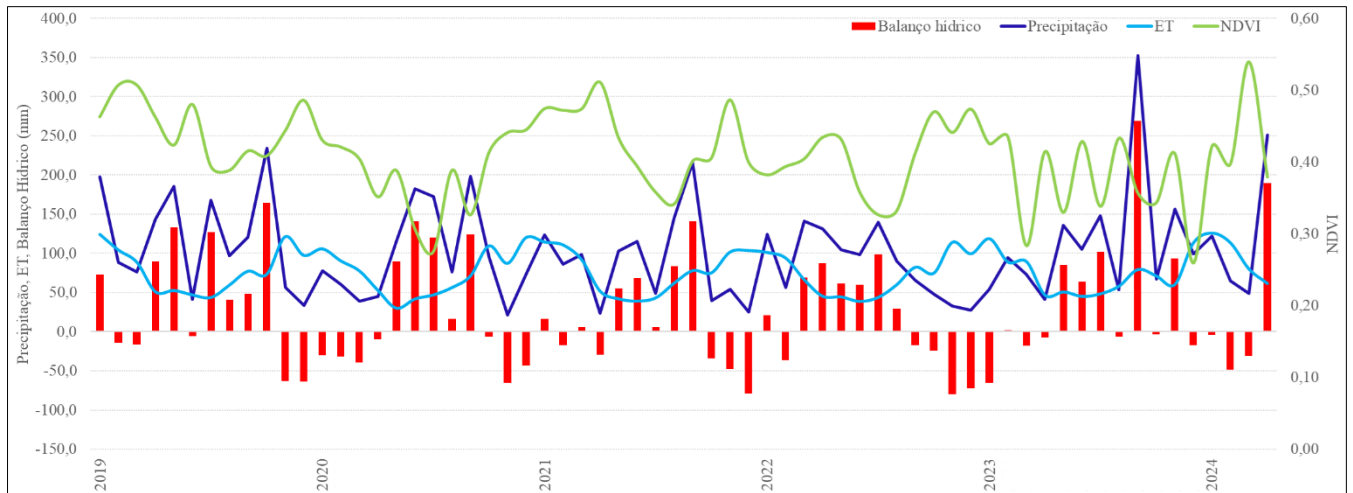


Figura 8. Valores estimados de precipitação, evapotranspiração, balanço hídrico e NDVI, Terraços lagunares I e II. Fonte: Dados CHIRPS e MOD16A2GF.

Os valores médios do NDVI em cada compartimento geomorfológico, no box plot (Figura 9), exibem um padrão espacial distinto. No Terraço Lagunar II, sítio da lagoa do Peixe, e na Paleofalésia da Barreira III ocorre a maior variabilidade. Os dados obtidos com o Greenseeker (Tabela 3) mostram padrões semelhantes aos obtidos com as imagens de NDVI no período entre 2019 e 2024.

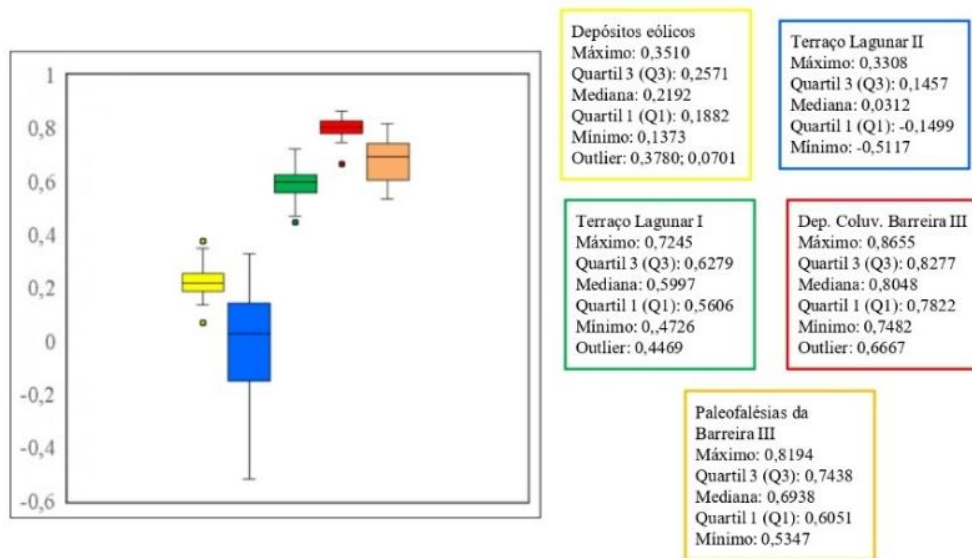


Figura 9. Box plot da variabilidade do NDVI, entre 2019 e 2024, por compartimento geomorfológico.

Tabela 3. Amostras de NDVI obtidas em campo com GreenSeeker.

Amostra	NDVI	Compartimento geomorfológico	Amostra	NDVI	Compartimento geomorfológico
1	0,45	Terraço Lagunar I	8	0,36	Terraço Lagunar I
2	0,59	Terraço Lagunar II	9	0,67	Terraço Lagunar I
3	0,32	Terraço Lagunar II	10	0,52	Terraço Lagunar II
4	0,72	Terraço Lagunar I	11	0,67	Terraço Lagunar II
5	0,43	Terraço Lagunar I	12	0,42	Terraço Lagunar I
6	0,62	Terraço Lagunar I	13	0,67	Paleofalésia da Barreira III
7	0,69	Terraço Lagunar I	14	0,74	Depósitos Coluvionares da Barreira III

3.3. Indicadores Pedoambientais

Os indicadores pedoambientais dos compartimentos geomorfológicos (Tabela 4) apontam o predomínio de solo hidromórfico areno-argiloso. As amostras apresentaram aproximadamente 90% de grãos de tamanho areia e entre 10% e 12% de argila. A maior parte das amostras apresenta < 1% de matéria orgânica (Figura 10), com maiores percentuais em amostras do Terraço Lagunar I (pontos 4, 6, 13).

No compartimento dos Depósitos Coluvionares da Barreira III (ponto 14), identificamos um percentual > 10% de matéria orgânica. O potencial hidrogeniônico (pH) variou entre 4,5 e 8 em todos os compartimentos, com maiores valores predominantes no Terraço I.

Quanto ao enxofre (S), identificamos que o Terraço I (pontos 1, 2, 8) e o Terraço II (ponto 3) apresentaram as maiores concentrações. O Terraço Lagunar I (pontos 4, 6, 13) e os Depósitos Coluvionares da Barreira III (ponto 14), apresentaram maior concentração de matéria orgânica e reagiram à solução corante com a,a'-dipiridil.

Tabela 4. Percentual granulométrico das amostras de solo por compartimento geomorfológico

Compartimento geomorfológico	Areia grossa + Areia fina	Argila	Silte
Terraço Lagunar II	86,4	12,4	1,2
Terraço Lagunar I	88	9,82	2,18
Depósitos coluvionares Barreira III	79	12	9
Paleofalésia da Barreira III	89	10	1

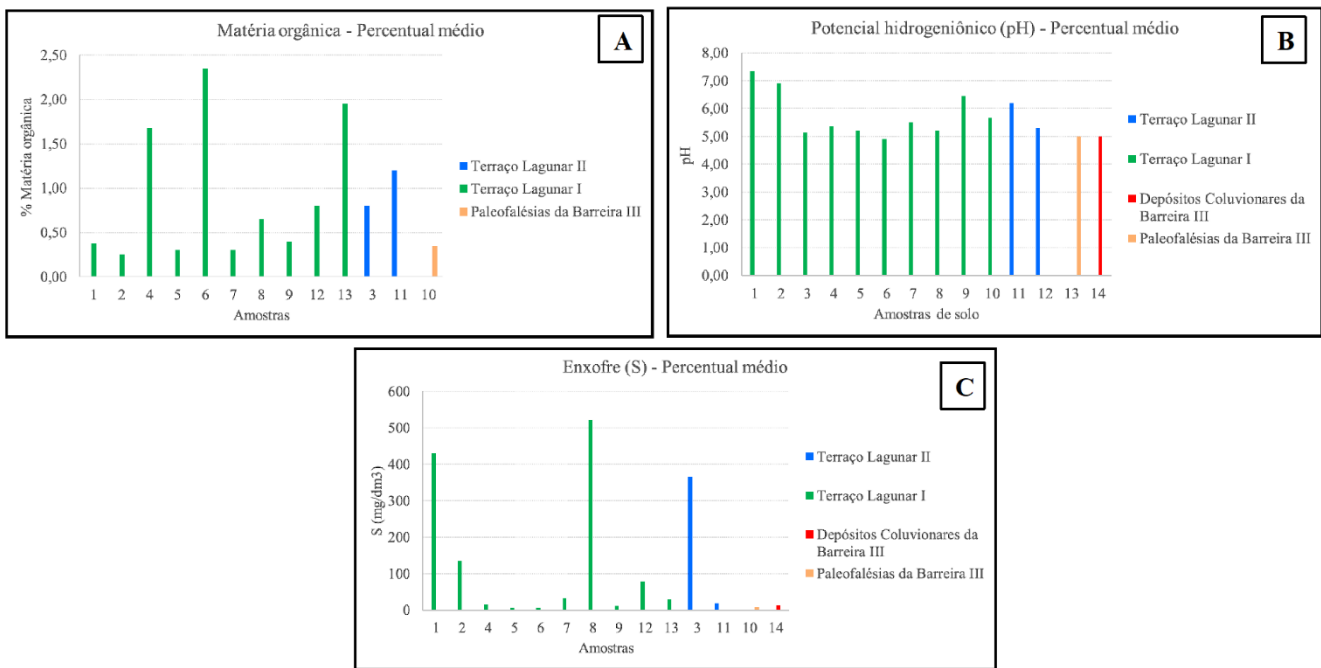


Figura 10. Indicadores pedoambientais: A) matéria orgânica (M.O); B) potencial hidrogeniônico (pH); C) enxofre (S), por compartimento geomorfológico.

3.5. Compartimentos Hidrogeomorfológicos

A partir da interpretação das imagens e dados de referência, dos trabalhos de campo e com base na análise das referências adotadas, foram estabelecidos 09 (nove) compartimentos hidrogeomorfológicos no PNLP: Dunas eólicas, Franja Lagunar, Franja Lacustre, Lacustre, Lagunar-estuarino, Terraço Lacustre, Terraço Lagunar, Depressão e Encosta. Cada compartimento abriga um ou mais sistemas hidrogeomorfológicos (Figura 11, Figura 12, Quadro 1).

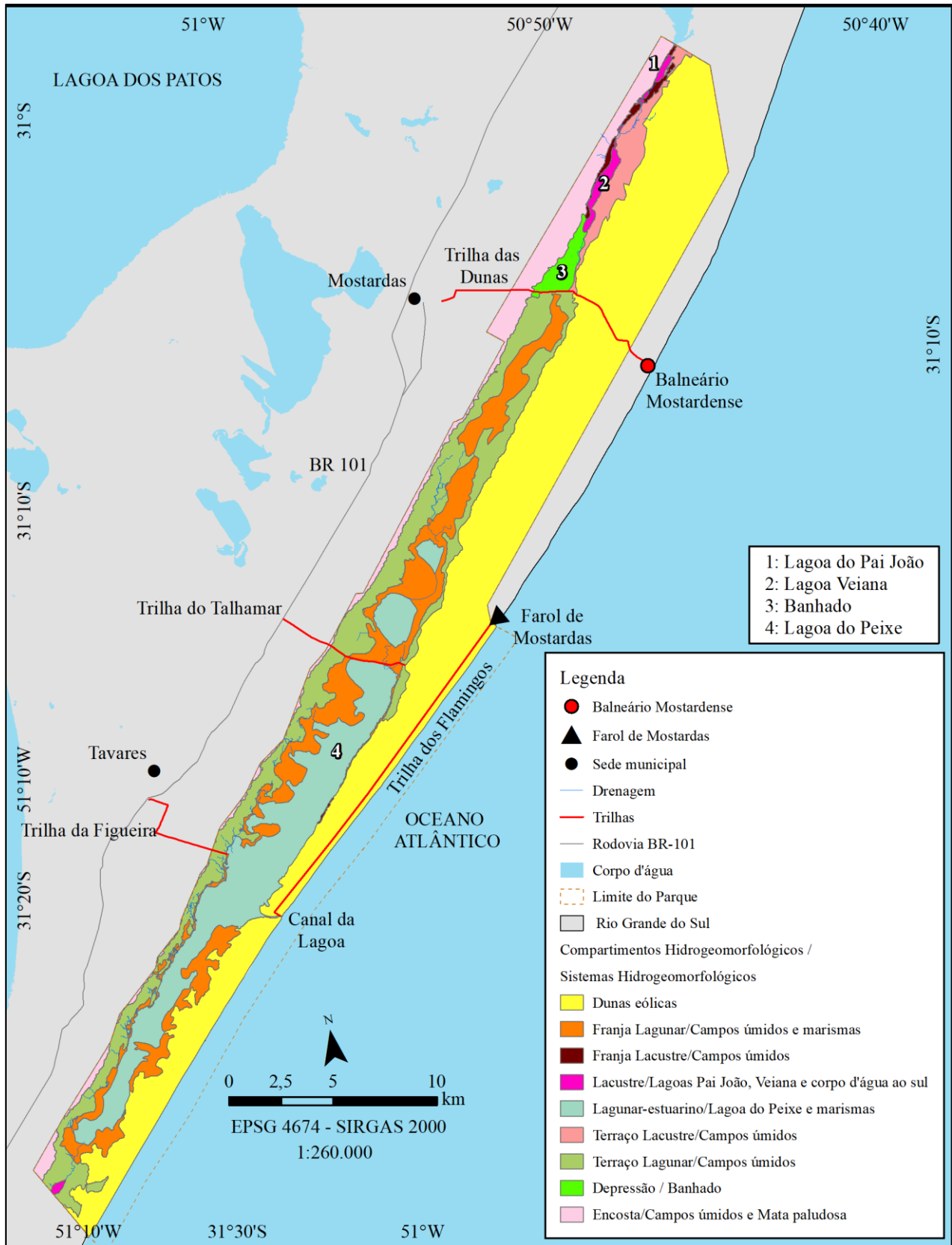


Figura 11. Compartimentos Hidrogeomorfológicos, Parque Nacional da Lagoa do Peixe. Fontes: DSG (2018), FABDEM (2023), IBGE (2024), ICMBio (2024), Imagem Sentinel - 2 (2024), SGB (2024).



Figura 12. Sistemas hidrogeomorfológicos (Tipologias de AUs) do PNLP). A) lagoa do Pai João; B) campos úmidos; C) marismas; D) lagoa do Peixe; E) banhado. Fotos: dos autores.

Quadro 1. Compartimentação Hidrogeomorfológica.

Compartimento hidrogeomorfológico	Sistema hidrogeomorfológico (Tipologia de AU)	Principais características
Dunas eólicas	Não apresenta AUs	Depósitos eólicos contínuos ao longo da costa. Areias quartzosas não consolidadas, ao norte do canal da lagoa do Peixe, com alturas entre 5 e 15 m. Orientação coincidente com a direção do vento nordeste.
Franja Lagunar	Campos úmidos e marismas	Morfologia plana, relacionada à erosão lagunar, na borda da lagoa do Peixe. Dinâmica hídrica associada aos pulsos de inundação e canais de drenagem dos compartimentos adjacentes. Em períodos de déficit hídrico ocorre maior evapotranspiração, e quase total redução de lâmina de água, expondo bancos de areia. Vegetação herbácea e presença de juncos e macegas.

Compartimento hidrogeomorfológico	Sistema hidrogeomorfológico (Tipologia de AU)	Principais características
Franja Lacustre	Campos úmidos	Terreno de morfologia plana, às margens das lagoas Veiana e Pai João. Dinâmica hídrica associada aos pulsos de inundação e a proximidade do lençol freático. Nesses períodos ocorre maior conectividade entre as lagoas, configurando um único sistema, e os campos úmidos têm maior disponibilidade hídrica. As drenagens são intermitentes, desaparecem em condições de La Niña. Presença de gramíneas adaptadas às flutuações hídricas. Predominam Gleissolos.
Lacustre	lagoas Veiana e Pai João, e corpo d'água ao sul	Lagoas costeiras de água doce. Dinâmica hídrica relacionada ao fluxo de água mantido pelas precipitações, pela proximidade do lençol freático e drenagens do compartimento de Encosta. Em balanço hídrico positivo (precipitação maior que evaporação), as lagoas do Pai João e Veiana se conectam e, mesmo em períodos de déficit hídrico, se mantém a lâmina de água.
Lagunar-estuarino	lagoa do Peixe e Marismas	Compartimento de água salobra ou salina (lagoa do Peixe e marismas) conectado periodicamente com o Oceano. Dinâmica hídrica associada aos pulsos de inundação, quando há balanço hídrico positivo em fase de El Niño. Em La Niña, marcado por déficit hídrico, ocorre a redução quase total da lâmina de água, exposição do fundo lagunar, que se mantém úmido nas camadas inferiores. Vegetação de marisma em locais intermareais e juncos nas bordas da lagoa. Sedimentos de fundo são de facie arenosa e lamosa.
Terraço Lacustre	Campos úmidos	Morfologia plana, adjacente às Dunas eólicas e às lagoas Pai João e Veiana. Dinâmica hídrica associada a baixa altimetria, quando há balanço hídrico positivo ocorre acúmulo temporário de água das chuvas sobre os campos úmidos na forma de pequenas lagoas. Mesmo em períodos mais secos, preserva a disponibilidade hídrica. Presença de drenagens intermitentes que desaparecem em condições de La Niña. Predominam vegetação herbácea e <i>Pinus spp.</i> Predomina Gleissolos, de textura arenosa.
Terraço Lagunar	Campos úmidos	No compartimento interdunas, entre as Dunas eólicas e as Paleofalésias da Barreira III, de morfologia plana. Dinâmica hídrica associada a períodos de elevadas precipitações, no El Niño e na fase neutra. Drenagem intermitente que escoam dos campos úmidos para a lagoa do Peixe. Vegetação herbácea adaptada ao regime hidrológico. Predomina Gleissolos, de textura arenosa.
Depressão	Banhados	Morfologia côncava. Dinâmica hídrica determinada pela oscilação dos níveis de água associada a precipitação e a proximidade do lençol freático. Em períodos de balanço hídrico positivo, ocorre lâmina de água aparente em função dos pulsos de inundação, com escoamento para a lagoa do Peixe. Mesmo em períodos secos, mantém a disponibilidade hídrica. Presença de macrófitas aquáticas

Compartimento hidrogeomorfológico	Sistema hidrogeomorfológico (Tipologia de AU)	Principais características
		anfíbias, emergentes, flutuantes, epífitas e trepadeiras. Solos (Gleissolos), permanentemente saturados de água.
Encosta	Campos Úmidos e Mata paludosa	Terreno levemente elevado e de morfologia suave. Dinâmica hídrica assoada a drenagem temporária que escoa da Encosta da Paleofalésia da Barreira III para os Terraços Lagunares. Regime hídrico associado à precipitação (balanço hídrico positivo), aos pulsos de inundação das lagoas e dos banhados, que eventualmente atingem este compartimento. Mesmo em balanço hídrico negativo a umidade do solo se mantém em alguns setores do compartimento. Presença de espécies higrófitas e herbáceas adaptadas ao regime hídrico temporário. Predominam Plintossolo Argilúvico e Gleissolo melânico, não permanentemente encharcados.

4. Discussões

A recente disponibilidade de produtos DEM globais gratuitos tem facilitado a sua utilização em estudos geomorfológicos, e são importantes na representação de ambientes arenosos costeiros de baixa variação altimétrica (ALMAR et al., 2021; EMMENDORFER et al., 2024). E são relevantes na avaliação do comportamento hidrogeomorfológico de zonas costeiras (GESCH, 2023).

Em decorrência dos fatores de formação do relevo do PNL, as principais diferenças altimétricas correspondem a formas deposicionais, feições de topografia plana que apresentam pequena expressão altimétrica, com semelhanças entre compartimentos. Ao mapear as feições morfológicas, essas características, somadas à presença de vegetação arbórea, nos compartimentos de maior elevação (Paleofalésias e Depósitos coluvionares da Barreira III), dificultam o delineamento geomorfológico. Uma representação mais precisa da variação das elevações da área mapeada foi obtida com o modelo FABDEM, que não possui o viés vertical da vegetação, não retirado no DiluviumDEM. Assim, esse modelo foi adotado na identificação dos compartimentos hidrogeomorfológicos, combinado à interpretação visual de imagens Sentinel-2.

Contudo, segundo a literatura, não há consenso sobre qual modelo tem maior precisão de representação do relevo. Dusseau, Zobel e Schwalm (2023) obtiveram melhores resultados utilizando o DiluviumDEM quando comparado ao FABDEM, COP30DEM e CoastalDEM em áreas costeiras da América do Norte e Central, Europa, Oceania e Ásia. E Gesch (2023) registrou melhor desempenho do FABDEM, quando comparado a outros DEMs globais (AW3D30, ASTER GDEM, NASADEM, CoastalDEM, Copernicus, MERIT, TanDEM-X, GLLDTM e GEDI) em áreas costeiras dos Estados Unidos. Meadows, Jones e Renke (2024) obtiveram melhor acurácia vertical em áreas costeiras e continentais em todo o globo com FABDEM, quando comparado ao COP30DEM, NASADEM, AW3D30 e SRTM. Então o ideal é avaliar qual modelo mostra melhor resultado para a área analisada.

O uso combinado de dados de sensoriamento remoto em análises geomorfológicas, constitui uma ferramenta eficaz a partir da interpretação visual e/ou automática de imagens de satélite (MENESES; ALMEIDA, 2012). Tem sido reconhecido no estudo de AUs de Sítios Ramsar desde 2006, na Conferência das Partes (COP8), (GONÇALVES; CUNHA; JUNK, 2019).

Artigos recentes exploraram o mapeamento geomorfológico costeiro combinando DEMs globais com imagens de satélite (POLIZEL; ROSSETTI, 2014; NETO et al., 2019; COMERLATO; LAMOUR; SILVEIRA, 2020; BAGOT; HUYBRECHTS; SERGENT, 2021; RAMOS et al., 2021). Combinados à interpretação de imagens de satélite de boa resolução espacial, são dados úteis para mapeamentos geomorfológicos, especialmente em áreas de topografia muito plana, onde a similaridade entre as morfologias pode dificultar a identificação dos compartimentos (HOFFMANN; WINDE, 2010; GUASSELLI; SIMIONI; LAURENT, 2020). Em estudos hidrogeomorfológicos costeiros, DEMs globais foram comparados aplicando o Topographic Wetness Index (TWI) em AUs (GUASSELLI; SIMIONI; LAURENT, 2020); no mapeamento de inundações costeiras (ZHANG et al., 2019); para estimar atributos

topográficos relevantes ao mapeamento de propriedades verticais do solo (METTERNICHT et al., 2022); em ambiente arenoso de baixa altitude (EMMENDORFER et al., 2024).

Bitencourt et al. (2020) utilizaram o modelo TanDEM-X (0,4 arco-segundos de resolução espacial) para produzir perfis altimétricos de uma barreira holocênica (compartimento de dunas eólicas) entre o setor sul e norte do PNLP (Figura 5), que permitiram descrever uma mudança na orientação da linha de costa, com balanço positivo de sedimentos no setor norte do PNLP. A alimentação de areia para os campos de dunas transgressivas para a antepraia adjacente (TOLDO et al., 2006; ABSALONSEN; TOLDO, 2007), mostra que o trecho litorâneo da região do PNLP apresenta o maior volume líquido de sedimentos transportados pela deriva litorânea ao longo do litoral médio (MOTTA et al., 2015; BITENCOURT et al., 2020).

As características das AUs são influenciadas pela variação dos níveis de água. Estas variações estão relacionadas às características geomorfológicas e climáticas da região em que se encontram (BRASSESCO 2011). A dinâmica hídrica das AUs do PNLP é controlada pelo regime de precipitação e pela morfologia plana, uma vez que não estão associadas a uma rede de drenagem e, também não recebem afluência de rios. As drenagens são intermitentes, padrão característico das paisagens da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Korb et al. (2023) destacaram a maior influência dos fenômenos de El Niño Oscilação Sul e Modo Anular do Hemisfério Sul nos pulsos de inundação, com maiores áreas alagadas na primavera, em ano de El Niño e em ano Neutro.

O El Niño - Oscilação Sul, é um importante impulsionador da dinâmica hídrica nas AUs costeiras do PNLP. Os eventos El Niño e La Niña podem impactar os níveis de água tanto por meio de efeitos oceânicos diretos, quanto indiretamente, via alteração de padrões de precipitação que afetam o balanço hídrico e fluxo de água de bacias hidrográficas costeiras (KAHYA; DRACUP, 1993; CLARK et al., 2001; GARCIA-LEÓN; BELTRÁN-VARGAS; ZAFRA-MEJÍA, 2023). O efeito do fenômeno ENOS em AUs costeiras foi verificado por Goodman et al. (2018), Acosta et al. (2023), e em AUs interiores por Garcia-León; Beltrán-Vargas; Zafra-Mejía (2023) e Saéz; Delgado; Ramos (2023).

O balanço hídrico, obtido da relação entre a precipitação e a evapotranspiração, demonstrou que as AUs do PNLP enfrentam déficit hídrico no verão quando ocorre a La Niña, quando a evapotranspiração é maior. Em contraste, balanços positivos são observados de forma marcante no inverno e na primavera, potencializados por eventos de El Niño. Essa variabilidade climática exerce um papel crucial na dinâmica da vegetação, influenciando a distribuição espacial e sazonal das espécies vegetais (LEE; KIM; KIM, 2020). Além disso, a recarga do lençol freático é diretamente afetada, com implicações significativas para a disponibilidade de água subterrânea em AUs dependentes de precipitação (DE LA FUENTE; MERIANE; SUÁREZ, 2021).

A interação entre os ciclos hidrológicos e a atividade biológica em diferentes estações pode fornecer informações essenciais para estratégias de conservação e manejo sustentável (ZHANG et al., 2021; MAYILVAHANAM; GHOSH; OJHA, 2023). A estabilidade desses ecossistemas, por sua vez, é mantida pela capacidade das AUs de adaptar-se a essa dinâmica hídrica, promovendo resiliência ecológica (KOOL et al., 2022) e maior conectividade hidrológica (SIMIONI, GUASSELLI, ETCHLAR, 2017). Mas, também pode interferir em perda de biodiversidade. Segundo Barros e Albernaz (2014); Sandi et al. (2020) a redução das chuvas pode causar um rápido declínio de espécies e, o aumento das chuvas a substituição de espécies de plantas.

A variabilidade do NDVI, observada entre 2019 e 2024, pode estar associada ao El Niño e La Niña, principalmente devido a influência que exerce na precipitação da região, conforme Jacobsen (2002) e Cordeiro (2014). Em anomalias positivas de precipitação do El Niño ocorreram maiores valores de NDVI, sobretudo nos compartimentos Paleofalésias e Depósitos Coluvionares da Barreira III, onde há maior vigor vegetativo. Por outro lado, os Terraços Lagunares (Depressão, Lacustre, Lagunar-estuarino, Terraços Lacustres e Lagunar e as Franjas) registraram maior amplitude de NDVI, devido à presença de água na superfície, que reduz a reflectância no infravermelho próximo (CORDEIRO, 2014). Nas áreas de banhado, o padrão de resposta espectral é fortemente influenciado pela mistura das respostas das macrófitas aquáticas e da água (GUASSELLI, 2005).

Destaca-se que, mesmo em período de déficit hídrico, ocorrem valores de NDVI próximos de 1 no compartimento da Depressão. A dinâmica hídrica na Depressão, onde se encontra o principal banhado do PNLP, contribui com aporte hídrico aos compartimentos situados a jusante, como o Lagunar-estuarino (lagoa do Peixe). Valores de NDVI próximos a 1 decorrem da presença de umidade no compartimento, possivelmente associada à liberação de água da proximidade do lençol freático em áreas costeiras. Esta relação foi abordada em Wang et al. (2004), Chen et al. (2014), Teramoto et al. (2018), Zhou et al. (2023) e Liu et al. (2024), que correlacionaram o NDVI

ao comportamento de aquíferos e concluíram que as flutuações sazonais do NDVI refletem a disponibilidade de água no solo.

Em relação aos solos, a análise granulométrica mostrou um padrão areno-argiloso nos compartimentos de topografia plana, cobrindo terraços lagunares suscetíveis a pulsos de inundação. Os Gleissolos expressam a hidromorfia resultante do processo de redução de compostos de ferro em presença de matéria orgânica, podendo ocorrer alternância de oxidação por efeito da flutuação do nível freático (EMBRAPA, 2018). Segundo Streck et al. (2008), os Gleissolos têm ampla ocorrência na Planície Costeira, são predominantemente arenosos, hidromórficos, típicos de planícies lagunares e originados de sedimentos holocênicos não consolidados.

Os maiores percentuais de matéria orgânica foram obtidos sobre o Terraço Lagunar I (pontos 4, 6, 13) e sobre os Depósitos Coluvionares da Barreira III (ponto 14). Estes pontos representam os campos úmidos e os banhados, sistemas hidrogeomorfológicos que tendem a acumular matéria orgânica como resultado da oxidação e redução do meio. Conforme Amendola (2017), em meio oxidante, a matéria orgânica tende a ser rapidamente consumida, enquanto, em meio redutor, associado à sazonalidade do lençol freático, pode permanecer em um ambiente anaeróbico, responsável pela sua preservação.

As condições topográficas destes sistemas hidrogeomorfológicos tendem, além de acumular umidade, a depositar materiais transportados dos compartimentos geomorfológicos de altimetria mais elevada, como as Paleofalésias da Barreira III. Assim, o processo de adição de matéria orgânica é notoriamente marcante na pedogênese destes sistemas hidrogeomorfológicos. Sousa et al. (2011), Machado (2014), Sousa et al. (2015), Troian et al. (2015), Amendola (2017), Cunha-Santino e Bianchini Júnior (2023) também analisaram o acúmulo de matéria orgânica em tipologias de AUs.

A reação à solução corante com a,a'-dipiridil ocorreu nos mesmos pontos de maior concentração de matéria orgânica e umidade (pontos 4, 6, 13, 14), revelando que o ambiente redox influencia o teor de óxidos de ferro pedogênicos (CORINGA; COUTO; TORRADO, 2015), diferente dos pontos de solos onde a drenagem e umidade são restritas.

As análises de pH permitiram classificar esses solos com tendência à acidez, condição típica de materiais ricos em matéria orgânica em condição hidromórfica, com decomposição parcial da matéria orgânica e produção de ácidos orgânicos (NASCIMENTO; BERBET; RIBEIRO, 2015). As maiores concentrações de enxofre foram encontradas nos Terraços Lagunares (pontos 1, 3, 8), em áreas de marismas. Solos hidromórficos, especificamente os depósitos de origem litorânea, podem apresentar variadas taxas de enxofre devido à proximidade às águas oceânicas (NETO, 2010).

Os critérios para identificar, classificar e delimitar as AUs variam, e diversas pesquisas têm sido realizadas para mapear esses ambientes (SIMIONI; GUASSELLI, 2017). Isso ressalta a importância de considerar os padrões espaciais que elas apresentam na paisagem. Além disso, destacam a relevância da adoção de terminologias regionais ou locais, baseadas em fundamentos teóricos e técnicos, que permitam agrupá-las em compartimentos hidrogeomorfológicos com funcionamentos semelhantes (BRINSON, 2009; GOMES, 2017; RICAURTE et al., 2019). Vale ressaltar que a adoção desses critérios não implica necessariamente em uma abordagem rígida, podendo ser aplicada a diferentes paisagens (GOMES, 2023).

A adoção de critérios hidrogeomorfológicos para a compartimentação das AUs do PNLN permitiu a compreensão de suas principais características estruturais e funcionais. De acordo com Brinson (1993), essa abordagem de classificação para áreas úmidas, coloca ênfase nos controles hidrológicos e geomórficos, que são aparentemente responsáveis pela manutenção de muitos dos aspectos funcionais desses ecossistemas.

Os sistemas hidrogeomorfológicos do parque, apresentam uma dinâmica hídrica associada à sua morfologia plana e baixa associada a variação da precipitação. Essa dinâmica, está relacionada a pulsos de inundação e período de secas severas associados a eventos de variabilidade climática. Essa compartimentação possibilita uma análise detalhada dos processos hidrológicos e geomorfológicos que definem a dinâmica interna nessas áreas (MITSCH; GOSSELINK, 2015). Com a compartimentação hidrogeomorfológica, é possível compreender as interações entre topografia, fluxo de água e vegetação, oferecendo um quadro completo para a gestão e conservação eficaz desses ecossistemas (BRINSON, 1993; RIVERS-MOORE et al., 2020). Smith et al. (1995) e Gomes (2023) enfatizam a importância dessa metodologia na manutenção das funções ecológicas das AUs.

Análises relacionadas à extensão de AUs costeiras, considerando a aplicação da abordagem hidrogeomorfológica, ainda são pouco exploradas. Assim, este estudo tem como principal contribuição abordar esses ambientes na compartimentação hidrogeomorfológica do PNLN. Consideramos que as referências adotadas,

Brinson (1993) e Smith et al. (1995), para o delineamento e classificação de AUs baseado nas unidades hidrogeomorfológicas, e Cunha, Piedade e Junk (2015), em níveis hierárquicos e com terminologias locais, foram adequadas para compartimentação hidrogeomorfológica das AUs do Parque.

5. Conclusões

A combinação de dados de sensoriamento remoto (modelo FABDEM e imagens Sentinel-2), indicadores da paisagem (NDVI e solos hidromórficos) e balanço hídrico, permitiu definir nove compartimentos hidrogeomorfológicos nas AUs costeiras do PNLN, em áreas de topografia plana e baixa altimetria.

O modelo FABDEM foi mais eficiente para definir as variações altimétricas e os limites entre os compartimentos geomorfológicos. E destacou melhor as diferenças entre os setores norte e sul do PNLN, entre a Paleofalésia da Barreira III e as Dunas eólicas da Barreira IV, além de evidenciar as áreas úmidas interdunas.

A dinâmica hídrica das AUs relaciona-se diretamente com a precipitação, registrando maiores lâminas de água aparente em períodos de neutralidade e na fase de El Niño, e menores em períodos de La Niña.

A variabilidade dos valores médios de NDVI, em cada compartimento geomorfológico, mostrou diferenças durante a ocorrência dos eventos La Niña, Neutro e El Niño. Esses valores exibiram um padrão espacial distinto, especialmente entre o Terraço Lagunar II, sítio da lagoa do Peixe.

Os indicadores pedoambientais permitiram identificar o pH como elemento comum em todos os compartimentos com solos hidromórficos. Concentrações de enxofre foram encontradas nos Terraços Lagunares e em áreas de marismas, devido à proximidade às águas oceânicas. A solução corante a,a'-dipiridil se mostrou eficiente para indicar o ambiente redox que influencia no teor de óxidos de ferro pedogênicos.

Os compartimentos hidrogeomorfológicos no PNLN ocorrem onde condições hidrológicas, impulsionadas pelas características de clima, geologia, solos e topografia plana, causam saturação superficial com duração suficiente para formar solos hidromórficos e favorecer a vegetação adaptada às condições de umidade.

Mas, é importante destacar que estabelecer compartimentação hidrogeomorfológica em AUs costeiras, ainda continua sendo um desafio, considerando a similaridade entre morfologias marcadamente planas. É essencial observar que nossas análises foram específicas para o PNLN, situado na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, em um segmento da costa bastante instável do ponto de vista sedimentar, tanto pela dinâmica imposta pelo Oceano quanto pela ação eólica e meteorológica. Devido à formação geológico-geomorfológica, a hidrografia é pouco desenvolvida e intermitente. O comportamento hidrológico é marcado pelo extravasamento das lagoas em função dos pulsos de inundação, bem como pela proximidade com o lençol freático, conectando lagoas e banhados.

Por fim, esperamos que essas análises possam contribuir para ampliar o conhecimento hidrogeomorfológico em AUs costeiras, e sobre as AUs do PNLN em particular, de maneira a promover políticas de proteção ambiental para as áreas úmidas.

Contribuições dos Autores: Carina C. Korb: concepção, trabalhos de campo, pesquisa, metodologia, mapeamentos, validação, preparação dos dados, investigação, análise e escrita do artigo; Laurindo A. Guasselli: orientação, trabalhos de campo, pesquisa, validação, revisão, análise e escrita do artigo; Tássia F. Belloli: trabalhos de campo, pesquisa, validação, revisão, análise e escrita do artigo; Christian S. Cunha: elaboração de scripts no GEE, preparação de dados, validação, análise; Amanda L. Bauer: preparação da solução de a,a'-dipiridil, auxílio em trabalhos de campo, pesquisa, validação; Caroline S. Brückmann: preparação da solução de a,a'-dipiridil, validação. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Pesquisa financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através de bolsas de Doutorado processos nº 88887.645451/2021-00, 88887.488339/2020-00 e 88887.801261/2023-00; CNPq bolsa PQ - processo nº 301822/2022-0; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) - Programa Pesquisador Gaúcho, Edital FAPERGS 07/2021.

Agradecimentos: Ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, do Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia/UFRGS; à CAPES e à FAPERGS pelo apoio financeiro. À UNISINOS pelo auxílio nos trabalhos de campo. Ao ICMBio pela Autorização para atividades com finalidade científica.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ABLAT, X.; LIU, G.; LIU, Q.; HUANG, C. Using MODIS-NDVI Time Series to Quantify the Vegetation Responses to River Hydro-Geomorphology in the Wandering River Floodplain in an Arid Region. **Water**, v.13, n.16, p.2269, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w13162269>.
2. ABSALONSEN, L.; TOLDO, E.E. A Influência da Inflexão Costeira na Variabilidade da Linha de Praia em Mostardas – RS. **Pesquisas em Geociências**, v.34, n.1, p.3-18, 2007. DOI: 10.22456/1807-9806.19457
3. ACOSTA, R.; CAROL, E.; BORZI, G.; LEAL, P.; ALVAREZ, M.P. Análisis del Efecto de La Variabilidad Climática en la Extensión de Humedales Lagunares a partir del Índice NDWI. Anais... In: XXVII Congreso Nacional del Agua, 27, 2023, Argentina, **Anais...**p. 42-43.
4. AIRBUS Defence and Space GmbH Copernicus DEM: Copernicus Digital Elevation Model Product Handbook RFP/RFI-No.: AO/1-9422/18/I-LG, p.1-36. 2020.
5. ALMAR, R., RANASINGHE, R., BERGSMA, E.W., DIAZ, H., MELET, A., PAPA, F., KESTENARE, E. A global analysis of extreme coastal water levels with implications for potential coastal overtopping. **Nature Communication**. v.12, n.1, p.3775. 2021.DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24008-9>.
6. ALVES, D. C. L. **Hidrogeomorfologia e efeitos da subida do nível do mar no Balneário Cassino, RS - Brasil**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. 182f.
7. AMENDOLA, D.F. **Caracterização da matéria orgânica do solo e sua influência nas propriedades físico-químicas no sistema Latossolo-Gleissolo**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017. 92f.
8. AREJANO, T. B. **Geologia e evolução holocênica do sistema lagunar da Lagoa do Peixe, litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. 94f.
9. ARTIGAS, F. J.; YANG, J. Spectral discrimination of marsh vegetation types in the New Jersey Meadowlands, USA. **Wetlands**, v. 6, n.1, p.271-277, 2006. DOI: [http://dx.doi.org/10.1672/0277-5212\(2006\)26\[271:sdomvt\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1672/0277-5212(2006)26[271:sdomvt]2.0.co;2).
10. ASLAM, A.; AHMAD, T.; RANJAN, R. K. Differential responses of hydrochemical factors and LULC changes on the spatial and temporal hydrogeochemistry of the eco-sensitive Baraila wetland, Bihar, India. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 13, p. 39223-39245, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-25005-1>.
11. BABAR, M. **Hydrogeomorphology: fundamentals, applications and techniques**. New India Publishing Agency, New Delhi. 2005.
12. BACKHAUS, P. J. **A Hydrogeomorphic Remote Assessment of Wetland Function (Hgm-Rawf) for the Mid-Atlantic Region, USA**. Tese (Doctorate in Geography) - Curso de Geography, Pennsylvania State University, State College, 2022. 207f.
13. BAGOT, P.; HUYBRECHTS, N.; SERGENT, P. Satellite-Derived Topography and Morphological Evolution around Authie Macrotidal Estuary (France). **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9, n. 12, p. 1354, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jmse9121354>.
14. BARATTO, J.; LIMA, N. G. B.; TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. Correlações entre a Precipitação Pluvial e o NDVI no Manguezal do Sistema Costeiro de Cananéia-Iguape. In: XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 15, 2023, Guarapuava, **Anais...** p. 2543-2558. ISBN 2764-1805.
15. BARROS, D.F.; ALBERNAZ, A.L.M. Possibles impacts of climate change on wetlands and its biota in the Brazilian Amazon. **Braz. J. Biol.**, v.74, n. 4, p.810-820. 2014. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.04013>.
16. BIELSKI, C.; LÓPEZ-VÁZQUEZ, C.; GROHMANN, C. H.; GUTH, P. L.; HAWKER, L.; GESCH, D.; TREVISANI, S.; HERRERA-CRUZ, V.; RIAZANOFF, S.; CORSEAUX, A.; REUTER, H. I.; STROBL, P. Novel Approach for Ranking DEMs: copernicus dem improves one arc second open global topography. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 62, p.1-22, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/tgrs.2024.3368015>.
17. BISSON, R. A.; LEHR, J. H. **Modern groundwater exploration: Discovering new water resources in consolidated rocks using innovative hydrogeologic concepts, exploration, drilling, aquifer testing and management methods**, 309, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons. 2004. DOI: 10.1002/0471660833
18. BITENCOURT, V. J. B. de; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. da C.; MANZOLLI, R. P. Padrões de Empilhamento Estratigráfico e seus Reflexos na Morfologia da Barreira Costeira Holocênica no Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.21, n.3, p.530-548, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1789>.

19. BRASSESCO, S. B. **Análisis del Nivel Hídrico Y Las Condiciones Del Humedal de La Laguna de Batuco**. Escola de Geografia., Universidad de Chile, Santiago, 2011. 212f.
20. BRINSON, M. M. **A Hydrogeomorphic Classification for Wetlands**. Greenville: U.S. Army Corps of Engineers, 1993. Disponível em: <https://wetlands.el.erdc.dren.mil/pdfs/wrpde4.pdf>
21. BRINSON, M. M.; SMITH, R. D.; WHIGHAM, D. F.; LEE, L. C.; RHEINHARDT, R. D.; NUTTER, W. L. **Progress in development of the hydrogeomorphic approach for assessing the functioning of wetlands**. Wetlands for the Future, 1998.
22. BRINSON, M. M. The United States HGM (hydrogeomorphic) approach. In: MALTBY, E; BARKER, T (eds). **The wetlands handbook**. Wiley-Blackwell, Oxford, UK. 2009, p.486 -512.
23. BRITTO, F.P., BARLETTA, R. E MENDONÇA, M. Variabilidade Espacial e Temporal da Precipitação Pluvial no Rio Grande Do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.3, p.37-48, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25408>.
24. BROOKS, R. P.; BRINSON, M.; HAVENS, K. J. Proposed Hydrogeomorphic Classification for Wetlands of the Mid-Atlantic Region, USA. *Wetlands* 31(2), p.207-219, 2012. DOI: 10.1007/s13157-011-0158-7
25. CAMPOS, C. E. B.; LANI, J. L.; RESENDE, M.; REZENDE, S. B. Indicadores de campo para solos hidromórficos na região de Viçosa (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1057-1066, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832003000600010>.
26. CANELLAS, L. P., MENDONÇA, E. S., DOBBSS, L. D., BALDOTTO, M. A., VELLOSO, A. C. X., SANTOS, G. A. e AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da Matéria Orgânica, In: Santos, G. A., Silva, L. S., Canellas, L. P. Camargo, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª Ed. Porto Alegre. p.45-65, 2008.
27. CHEN, T.; DE JEU, R.; LIU, Y. Y.; VAN DER WERF, G. R.; DOLMAN, A. J. Using satellite based soil moisture to quantify the water driven variability in NDVI: A case study over mainland Australia. **Remote Sensing of Environment**, v.140, p.330-338. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.022>
28. CHILDS, C.W. Field tests for ferrous iron and ferric-organic complexes (on exchanges sites or in water-soluble forms) in soils. **Aust. J. Soil Res.**, 19, p.175-180, 1981.
29. CLARK, M. P., SERREZE, M. C.; MCCABE, G. J. Historical effects of El Nino and La Nina events on the seasonal evolution of the montanesnowpack in the Columbia and Colorado River basins. **Water Resources Research**, v.37, p.741-757. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000WR900305>
30. COMERLATO, T.; LAMOUR, M. R.; SILVEIRA, C. T. Mapeamento Digital de Formas de Relevô do Ambiente Costeiro do Paraná. **Caminhos de Geografia**. v.21, n.73, p.477-491 DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rcg217349608>.
31. CORDEIRO, A. P. A. **Padrões do Índice de Vegetação Associados à Variabilidade Climática do Estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 154f.
32. CORINGA, E. A. O.; COUTO, E. G.; TORRADO, P. V. Formas extraíveis de ferro em solos de áreas úmidas. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal, **Anais...**p.1-4.
33. COSTA, J.C., PEREIRA, G., SIQUEIRA, M.E, CARDOZO, F.S. E SILVA, V.V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.24, p.228-243, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>
34. COSTA, J. C. **Avaliações de Curto Prazo na Estrutura da Macrofauna Bentônica da Desembocadura da Lagoa do Peixe, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanologia) - Curso de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2015. 43 f.
35. COUROUBLE, M.; DAVIDSON, N.; DINESEN, L.; FENNESSY, S.; GALEWSKI, T.; GUELMAMI, A.; KUMAR, R.; MCINNES, R.; PERENNOU, C.; REBELO, L.; ROBERTSON, H.; SEGURA-CHAMPAGNON, L.; SIMPSON, M.; STROUD, D. **Convención sobre los Humedales. Perspectiva mundial sobre los humedales: Edición especial de 2021**. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención sobre los Humedales. 2021. 56p.
36. CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2015. 165p.
37. CUNHA-SANTINO, M.B.; BIANCHINI JÚNIOR, I. Reviewing the organic matter processing by wetlands. **Acta Limnológica Brasiliensis**, vol. 35, e19. p. 1-13. 2023
38. DE LA FUENTE, A.; MERUANE, C.; SUÁREZ, F. Long-term spatiotemporal variability in high Andean wetlands in northern Chile. **Science of the Total Environment**, v.756, p.143830, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143830>
39. DUSSEAU, D.; ZOBEL, Z.; SCHWALM, C. R. DiluviumDEM: enhanced accuracy in global coastal digital elevation models. **Remote Sensing of Environment**, v. 298, p.113812, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2023.113812>.

40. DVORETT, D.; DAVIS, C.; PAPES, M. Mapping and Hydrologic Attribution of Temporary Wetlands Using Recurrent Landsat Imagery. **Wetlands**, v.36, n.3, p. 431-443, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-016-0752-9>.
41. EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., Brasília, DF: Embrapa. 356 p. 2018.
42. EMMENDORFER, I. B.; ALMEIDA, L. P. M. de; ALVES, D. C. L.; EMMENDORFER, L. R.; ARIGONY-NETO, J. Accuracy assessment of global DEMs for the mapping of coastal flooding on a low-lying sandy environment: Cassino Beach, Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v.74, p.103535, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103535>.
43. FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.127-132, 1997.
44. GANI, M. A.; KWAST, J. van Der; MCCLAIN, M. E.; GETTEL, G.; IRVINE, K. Classification of Geomorphic Units and Their Relevance for Nutrient Retention or Export of a Large Lowland Padma River, Bangladesh: a NDVI based approach. **Remote Sensing**, v. 14, n. 6, p. 1481, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs14061481>.
45. GARCIA, A.M., WINEMILLER, K.O., HOEINGHAUS, D.J., CLAUDINO, M.C., BASTOS, R., CORREA, F., HUCKEMBECK, S., VIEIRA, J., LOEBMANN, D., ABREU, P. E DUCATTI, C. Hydrologic pulsing promotes spatial connectivity and food web subsidies in a subtropical coastal ecosystem. **Marine Ecology Progress Series**, v.567, p.17-28, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3354/meps12060>.
46. GARCIA-LÉON, L. G.; BELTRÁN-VARGAS, J. E.; ZAFRA-MEJÍA, C. A. Dynamic Modeling of the Trophic Status of an Urban Tropical Wetland under ENSO Conditions. **Climate**, v.11, n.61, p.2-15. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli11030061>
47. GESCH, D. Assessing Global Elevation Models for Mapping the Low Elevation Coastal Zone. **Geomorfometry**, p.11-13, 2023. Zenodo. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.8011577>.
48. GOODMAN, A. C.; THORNE, K. M.; BUFFINGTON, K. J.; FREEMAN, C. M.; JANOUSEK, C. N. El Niño Increases High-Tide Flooding in Tidal Wetlands Along the U.S. Pacific Coast. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.123, p.3162-3177, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JG004677>
49. GOMES, C. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Aparato Conceitual Sobre Áreas Úmidas (Wetlands) no Brasil: Desafios e Opiniões de Especialistas. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.37, n.3, p.484-508, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v37i3.50767>
50. GOMES, C. S. **Bases teórico-conceituais e subsídios para a classificação hidrogeomorfológica das áreas úmidas em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. 212f.
51. GOMES, C. S. **Classificação e Análise Biohidrogeomorfológica das Áreas Úmidas de Minas Gerais: integração multicriterial, multiescalar e geoespacial**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. 348 f.
52. GONÇALVES, S. R. A.; CUNHA, C. N. da.; JUNK, W. J. Etapas Prioritárias para uso de Dados Remotos e Sistemas
53. de Informações Geográficas em Planejamento de Inventário, Avaliação e Monitoramento de Áreas Úmidas. **Biodiversidade Brasileira**, n.2, p.86-96, 2019.
54. GUASSELLI, L. A. **Dinâmica da vegetação no Banhado do Taim, RS**. 2005. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. 173f.
55. GUASSELLI, L. A.; SIMIONI, J. P. D.; LAURENT, F. Mapeamento e Classificação de Áreas Úmidas usando Topographic Wetness Index (TWI) a partir de Modelos Digitais de Elevação, na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí - Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.21, n.3, p.639-659, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1714>
56. GUIMARÃES, I. B. P. M. **Áreas úmidas no domínio dos mares de morros: aspectos hidrogeomorfológicos e morfoestruturais**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2023. 109f.
57. HARRISON, I.; ABELL, R.; DARWALL, W.; THIEME, M. L.; TICKNER, D. & TIMBOE, I. The freshwater biodiversity crisis. **Science**, p.362-1369. 2018
58. HAWKER, L.; NEAL, J. **FABDEM V1-0**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5523/bris.25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7>
59. HAWKER, L.; UHE, P.; PAULO, L.; SOSA, J.; SAVAGE, J.; SAMPSON, C.; NEAL, J. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. **Environmental Research Letters**, v.17, n.2, p.24016, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>.
60. HE, K.; LI, W.; ZHANG, Y.; SUN, G.; MCNULTY, S. G.; FLANAGAN, N. E.; RICHARDSON, C. J. Identifying driving hydrogeomorphic factors of coastal wetland downgrading using random forest classification models. **Science of the Total Environment**, v.894, p.164995, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164995>.

61. HOFFMANN, E.; WINDE, F. Generating high-resolution digital elevation models for wetland research using Google Earth TM imagery - an example from South Africa. **Water SA**, v.36, n. 1, 2010.
62. ILYAS, S.; XU, X.; JIA, G.; ZHANG, A. Interannual Variability of Global Wetlands in Response to El Niño Southern Oscillations (ENSO) and Land-Use. **Frontiers In Earth Science**, v.7, p.1-14, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/feart.2019.00289>.
63. IBGE. **Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA). Mapeamento de Recursos Naturais (MRN), Escala 1:250 000.** Versão 2023. Rio de Janeiro, 2023.
64. ICMBio. **Limites Oficiais de Unidades de Conservação Federais, Escala 1:250.000.** 2024.
65. JACOBSEN, L. O. **Efeitos Associados a El Niño e La Niña na Vegetação do Estado do Rio Grande do Sul.** 2002. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. 112f.
66. KAHYA, E.; DRACUP, J. A. U.S. streamflow patterns in relation to the El Niño/Southern Oscillation. **Water Resources Research**, v.29, p.2491–2503. 1993. DOI: <https://doi.org/10.1029/93WR00744>
67. KAPLAN, G., AVDAN, U. Wetland Mapping Using Sentinel 1 SAR Data. In: Suha Ozden, R. Cengiz Akbulak, Cuneyt Erenoglu, Oznur Karaca, Faize Saris, & Mustafa Avcioglu (Eds.), **International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences.** 2017.
68. KLEMAS, V. Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: An Overview. **Journal of Coastal Research**, v.27, n.1, 2011. DOI: [10.2112/JCOASTRES-D-10-00103.1](https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-10-00103.1)
69. KNAK, R. B. (Org). **Plano de Manejo do Parque Nacional da Lagoa do Peixe- Fase 2.** Relatório técnico produzido pelo IBAMA/FNMA/FURG/NEMA/UFPeL. Rio Grande: Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 1999. 465p.
70. KOOL, J.; LHERMITTE, S.; HRACHOWITZ, M.; BREGOLI, F., MCCLAIN, M. E. Seasonal inundation dynamics and water balance of the Mara Wetland, Tanzania based on multi-temporal Sentinel-2 image classification. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.109, p.102766, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102766>
71. KORB, C. C.; GUASSELLI, L. A.; BELLOLI, T. F.; CUNHA, C. S.. Dinâmica espaço-temporal de pulsos de inundações nas Áreas Úmidas do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Sul do Brasil. **Investigaciones Geográficas**, n.66, p.32-47, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5354/0719-5370.2023.71701>.
72. LEE, O.; KIM, H. S.; KIM, S. Hydrological simple water balance modeling for increasing geographically isolated doline wetland functions and its application to climate change. **Ecological Engineering**, v. 149, p.105812, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105812>
73. LIU, M.; HAMILTON, S. H.; JAKEMAN, A. J.; LERAT, J.; SAVAGE, C.; CROKE, B. F.W. Assessing the contribution of hydrologic and climatic factors on vegetation condition changes in semi-arid wetlands: an analysis for the Narran Lakes. **Ecological Modelling**, v. 487, p. 110568, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110568>.
74. LOWRY, C. S., WALKER, J.F., HUNT, R.J., ANDERSON, M.P. Identifying spatial variability of groundwater discharge in a wetland stream using a distributed temperature sensor. **Water Resources Research**, v.43, n.10, p.1-9, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2007wr006145>.
75. LUAN, J.; LIU, D.; ZHANG, L.; HUANG, Q.; FENG, J.; LIN, Mu; LI, G. Analysis of the spatial-temporal change of the vegetation index in the upper reach of Han River Basin in 2000–2016. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, v.379, p.287-292, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/piahs-379-287-2018>.
76. MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final.** Porto Alegre: CPRM, 2005. 1 CD-ROM Escala 1:750.000.
77. MACHADO, H. M. **Comportamento do carbono orgânico em área úmida do cerrado: Estudo de caso em uma área úmida do córrego Beija-Flor, Uberlândia/MG.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2014. 90f.
78. MAGALHÃES, D. S.; JÚNIOR, J. F. S.; SANTOIA, L. S.; HADDAD, I. R. Análise Espaço-Temporal Do CO₂flux e NDVI da Região de Integração do Caeté - Nordeste da Amazônia Legal Brasileira. In: XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20, 2023, Florianópolis, **Anais...** p. 1890-1893. ISBN 978-65-89159-04-9.
79. MALVÁREZ, A.I., BÓ, R.F. (Orgs.) **Documentos Del Curso-Taller “Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina”.** Buenos Aires, 2004.
80. MANZOLLI, R. P.; PORTZ, L. C.; FONTÁN-BOUZAS, A.; BITENCOURT, V. B.; ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. Contribution of Reverse Dune Migration to Stabilization of a Transgressive Coastal Dune Field at Lagoa do Peixe National Park Dune Field (South of Brazil). **Remote Sensing**, v.15, n.14, p.3470, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs15143470>.
81. MARCHETTI, Z. Y.; LATRUBESSE, E. M.; PEREIRA, M. S.; RAMONELL, C. G. Vegetation and its relationship with geomorphologic units in the Parana River floodplain, Argentina. **Journal Of South American Earth Sciences**, v.46, p.122-136, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2013.03.010>.

82. MARCHETTI, Z. Y.; MINOTTI, P. G.; RAMONELL, C. G.; SCHIVO, F.; KANDUS, P. NDVI patterns as indicator of morphodynamic activity in the middle Paraná River floodplain. **Geomorphology**, v.253, p.146-158, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.003>.
83. MARCHETTI, Z. Y.; RAMONELL, C. G.; BRUMNICH, F.; ALBERDI, R.; KANDUS, P. Vegetation and hydrogeomorphic features of a large lowland river: NDVI patterns summarizing fluvial dynamics and supporting interpretations of ecological patterns. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.45, n.3, p.694-706, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/esp.4766>
84. MARCUZZO, F. F. N.; SIMON, F. W.; KIRCHHEIM, R. E. Relação da Hidrogeologia e os Indicadores Regionais de Vazão na Sub-Bacia da Lagoa dos Patos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 18., 2014, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: ABAS, 2014. p. 1-20.
85. MAYILVAHANAM, S.; GHOSH, S. K.; OJHA, C. S. P. Analyzing the Remote Sensing Inputs for Hydrological Sustainability of a Himalayan Catchment. **IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**. p.2289-2292. 2023. DOI: 0.1109/IGARSS52108.2023.10282399
86. MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>.
87. MEADOWS, M.; JONES, S.; REINKE, K. Vertical accuracy assessment of freely available global DEMs (FABDEM, Copernicus DEM, NASADEM, AW3D30 and SRTM) in flood-prone environments. **International Journal of Digital Earth**, v. 17, n. 1, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2024.2308734>.
88. MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, UNB, 276p. 2012.
89. METTERNICHT, G., del VALLE, H., TENTOR, F., SIONE, W., ZAMBONI, P., e ACEÑOLAZA, P.: **Avaliação da qualidade de modelos digitais de terreno de acesso aberto para estimar atributos topográficos relevantes para previsão das propriedades verticais do solo. Um estudo de caso da província de Entre Rios (Argentina)**, Assembleia Geral da EGU 2022, Viena, Áustria, 23–27 de maio de 2022, EGU22-3323, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-3323>, 2022.
90. MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. G. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. **Ecological economics**, v.35, n.1, p.25-33, 2000
91. MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. G. **Wetlands**. 5ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. 747p.
92. MOHSENI, F.; AMANI, M.; MOHAMMADPOUR, P.; KAKOOEI, M.; JIN, S.; MOGHIMI, A. Wetland Mapping in Great Lakes Using Sentinel-1/2 Time-Series Imagery and DEM Data in Google Earth Engine. **Remote Sensing**, v.15, n.14, p.3495. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs15143495>.
93. MONTANÉ, A. **L'approche hydrogéomorphologique: pratiques, valorisations et développement d'une méthode de cartographie des zones inondables**. Tese (Doutorado em Géographie) - Curso de Géographie, Université Paul Valéry - Montpellier III, França, 2014. 284 f.
94. MONTANÉ, A.; VINET, F.; BUFFIN-BELANGER, T.; VENTO, O. Tilisation de la cartographie hydrogéomorphologique: Etat des lieux et perspectives Hydrogeomorphological mapping: current situation and perspectives. **Geo-Eco-Trop**, v. 3, n. 40, p. 209-214, 2016.
95. MORAES, V. L. **Uso do solo e conservação ambiental no Parque Nacional da Lagoa do Peixe e Entorno (RS)**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. 119f.
96. MOTTA, L.M.; TOLDO, E.E.; ALMEIRA, L.E.S.B.; NUNES, J.C. Sandy sediment budget of the midcoast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Marine Research**, v.73, n 3-4, p.49-69, 2015. DOI: 10.1357/002224015815848839
97. MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, 115, p.1781-1800, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.019>
98. PEREIRA, L. M.; SANTOS, S. C. C. C.; NASCIMENTO, J. M.; SEGRETTI, M. L. Correlação da produtividade da soja com os atributos químicos do solo e o NDVI. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.11, n.1, p.430-438, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v11i1.12711>.
99. NASCIMENTO, D. C.; BERBET, C. P.; RIBEIRO, B. T. Variação do pH do solo em seis segmentos de veredas, região de Uberlândia, MG. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal, **Anais...**p. 1-4.
100. NETO, L. F. S. **Pedogênese e Matéria Orgânica de Solos Hidromórficos da Região Metropolitana de Porto Alegre**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. 2010. 117f.
101. NETO, C. A. S.; MAIA, A. O.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. Caracterização de Feições da Planície Costeira de Icapuí (CE) utilizando Imagens Sentinel - 2. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 19., 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE. 2019. p.294-297. ISBN 978-85-1700097-3.
102. National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA]. (2024). Cold and Warm Episodes by Season. National

- Weather Service Climate Prediction Center. Disponível em: <
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>, Acesso em: 15/05/24.
103. NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Wetlands: Characteristics and Boundaries**. National Academy Press: Washington, DC. 1995. 328 p.
104. OLIVEIRA, D. A. **Wetland como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o cerrado e o semiárido mineiro: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros – MG**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. 418 f.
105. OLLIS, D.J.; SNADDON, K.; JOB, N.; MBONA, N. **Classification System for Wetlands and other Aquatic Ecosystems in South Africa**. User Manual: Inland Systems. SANBI Biodiversity Series 22. South African National Biodiversity Institute, Pretoria. 2013.
106. POLIZEL, S.P. & ROSSETTI, D.F. Caracterização morfológica do delta do rio Doce (ES) com base em análise multissensor. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n.2, p.311-326. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i2.530>.
107. PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.
108. PORTZ, L., GUASSELLI, L.A., CORRÊA, I.C.S. Variação Espacial e Temporal de NDVI na Lagoa do Peixe, RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 05, p. 897-908, 2011.
109. RAMOS, R. A.; PASQUALETTO, A. I.; BALBUENA, R. A.; AGRA, R.; QUADROS, E. L. L.; NEVES, D. D. **Mapeamento e diagnóstico de áreas úmidas no Rio Grande do Sul com o uso de ferramentas de geoprocessamento**. Base cartográfica digital do RS 1:250.000. Fepam. 2015.
110. RAMOS, L. P.; ANDRADE, A. C. S.; NASCIMENTO, P. S. R.; SANTOS, J. P. S. Mapeamento geomorfológico da zona costeira sul de Sergipe. **Pesquisas em Geociências**, v.48, n.3, p.1-29, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.107654>.
111. REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P.D. Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 24(1), 48-55. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000100005>
112. RICAURTE, L. F.; PATIÑO, J. E.; ZAMBRANO, D. F. R.; ARIAS-G, J. C.; ACEVEDO, O.; APONTE, C.; MEDINA, R.; GONZÁLEZ, M.; ROJAS, S.; FLÓREZ, C. A Classification System for Colombian Wetlands: an essential step forward in open environmental policy-making. **Wetlands**, v.39, n.5, p.971-990, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-019-01149-8>.
113. RIVERS-MOORE, N. A.; KOTZE, D. C.; JOB, N.; MOHANLAL, S. Prediction of Wetland Hydrogeomorphic Type Using Morphometrics and Landscape Characteristics. **Frontiers in Environmental Science**, v.8, p.1-10. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00058>
114. RODRIGUES, B. D. **Comportamento dos Sistemas Frontais no Estado do Rio Grande do Sul durante os Episódios ENOS. 2015**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. 106 f.
115. ROLON, A. S.; ROCHA, O.; MALTCHIK, L. Diversity of aquatic macrophytes in the Lagoa do Peixe National Park. **Neotropical Biology and Conservation**, v.6, n.1, p.05-12, 2011. DOI: 10.4013/nbc.2011.61.02.
116. ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. **Revista Entre-Lugar**, v.11, n.22, p.57-85, 2020.
117. ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.
118. SÁEZ, K. C.; DELGADO, L.; RAMOS, S. Impactos de la variabilidad climática ENSO- evento La Niña 2021-2022, sobre humedales costeros. **Acta Biologica Venezuelica**. v.43, n.1, p. 33-41. 2023.
119. SANDI, S.G.; RODRIGUEZ, J.F.; SAINTILAN, N. et al. Resilience to drought of dryland wetlands threatened by climate change. **Sci Rep**, 10, 13232. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70087-x>
120. SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília/DF: Embrapa, 2018. 356 p.
121. SANTOS, M.L. **Matéria Orgânica do Solo e sua Resposta aos Fatores Edáficos no Bioma Pampa e à Mudança de Uso da Terra na Floresta Amazônica**. (Tese de Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2023. 112f.
122. SBRUZZI, J. B.; FONSECA, E. L.; SALDANHA, D. L. Variação espaço-temporal da Lagoa do Peixe frente aos eventos climáticos ENOS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: SBSR, 2015. p.1129-1136.

123. SCHÄFER, A.; LANZER, R.; SCUR, L. **Atlas socioambiental dos municípios de Cidreira, Balneário Pinhal, Palmares do Sul**. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2013. 354 p.
124. SCHOSSLER, V. **Morfodinâmica da embocadura da Lagoa do Peixe e da linha de praia adjacente**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011. 91f.
125. SCHOSSLER, V. **Influência das mudanças climáticas em geoindicadores na costa sul do Brasil**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. 170 f.
126. SCHOSSLER, V., TOLDO Jr, E.; E., DANI, N. Morfodinâmica da desembocadura da Lagoa do Peixe, litoral sul do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 44 (1), p. 25-39, 2017.
127. SCHULZ, Uwe Horst.; Ruppenthal, A. C.; LOVATO, B. P.; BRUCKMANN, C. S.; SILVA, F. G. da.; MAUHS, J.; FERRAZ, M.; MARCHI, T. C. **Guia de identificação de banhados na bacia hidrográfica do rio dos Sinos**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2021. Projeto Verde Sinos, etapa 3.
128. SEMENIUK C A. Wetlands of the Darling System – a geomorphic approach to habitat classification. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, 69(3), p.95-112. 1987.
129. SEMENIUK, C.A.; SEMENIUK, V. A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. **Vegetatio** 118, p.103-124. 1995.
130. SEMENIUK, C.A.; SEMENIUK, V. A comprehensive classification of inland wetlands of Western Australia using the geomorphic-hydrologic approach. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, 94: 449–464. 2011.
131. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL SGB. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000**. Bases de Dados do Sistema GeoSGB. Disponível em: <https://geosgb.sgb.gov.br/>
132. SHARPE, P. J.; KNEIPP, G.; FORGET, A. Comparison of Alternative Approaches for Wetlands Mapping: a case study from three u.s. national parks. **Wetlands**, v.36, n.3, p.547-556, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-016-0764-5>.
133. SIGNORI, L. M. **Mapeamento por Sensoriamento Remoto de Área de Pinus Spp no Parque Nacional da Lagoa do Peixe**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. 89 f.
134. SIMIONI, J. P. D.; GUASSELLI, L. A. Banhados: Abordagem Conceitual. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 30, p. 33–47, 2017.
135. SIMIONI, J. P. D.; GUASSELLI, L. A.; ETCHELAR, C.B. Connectivity among Wetlands of EPA of Banhado Grande, RS. **RBRH**, v.22, e15, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011716096>.
136. SINGH, M.; SINHA, R. Hydrogeomorphic indicators of wetland health inferred from multi-temporal remote sensing data for a new Ramsar site (Kaabar Tal), India. **Ecological Indicators**, v.127, p.107739, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107739>.
137. SILVA, D. E. M.; COSTA, D. F. S. Classificação das áreas úmidas e seus macrohabitats na planície flúvio-marinha do rio Apodi-Mossoró/RN (litoral semiárido do Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.1, p. 602-617, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p583-598>.
138. SILVA, M. O.; SOUZA, J. O. P. de.; GUERRA, M. D. F. Hidrogeomorfologia de Áreas Úmidas da Chapada do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.25, n.1, p.1-20, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i1.2444>.
139. SMITH, R. D.; AMMANN, A.; BARTOLDUS, C.; BRINSON, M. **An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices**. Technical Report WRP–DE–9, U.S. Corps of Engineers, Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 1995.
140. SIMÕES, R.S. **Mobilidade do limite praia duna no balneário Mostardense - RS: monitoramento por drone**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2018. 128f.
141. SOARES, G. S.; LANDIM DOMINGUEZ, J.M. Zonas úmidas na planície costeira do rio Itapicuru, litoral norte do estado da Bahia, Brasil: classificação e controles ambientais **Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 12, n. 2, p. 223-237, 2012.
142. SOUSA, R. F.; NASCIMENTO, J. L.; FERNANDES, E. P.; LEANDRO, W. M.; CAMPOS, A. B. Matéria orgânica e textura do solo em veredas conservadas e antropizadas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.8, p.861–866, 2011.
143. SOUSA, R. F.; BRASIL, E. P. F.; FIGUEIREDO, C. C.; LEANDRO, W. M. Soil Organic Matter Fractions In Preserved And Disturbed Wetlands Of The Cerrado Biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.222-231, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20150048>.

144. STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater-Ascar, 2008. 222 p.
145. TAGLIANI, C. R.; HARTMANN, C.; CALLIARI, L. J.; CRIEP, G. H. Geologia e Geomorfologia da Porção Sul do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, RS, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: SBG, v.2, p.292-294, 1992.
146. TERAMOTO, E. H.; BENJUMEA, M. T.; GONÇALVES, R.; KIANG, C. Séries Temporais do Índice NDVI na Avaliação do Comportamento Sazonal do Aquífero Rio Claro. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 1135-1157, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv70n3-45986>.
147. TOLDO, E.E.; NICOLODI, J.L.; ALMEIDA, L.E.S.B.; CORRÊA, I.C.S. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. **Journal of Coastal Research**, v.39, p.390-394, 2006.
148. TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico do Rio grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. Holz, M & DeRos, L.F. (editores), **Geologia do Rio Grande do Sul**. Edição CIGO/UFRGS. 2000. 444 p.
149. TROIAN, A.; CAPOANE, V.; HERZOG, D.; ZAFAR, M.; SANTOS, D. R. dos. Impacto da drenagem de áreas úmidas nos teores de carbono orgânico do solo: estudo de caso em duas toposequências do planalto do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais [...]**. p.1-4.
150. XI, Y.; PENG, S.; CIAIS, P.; CHEN, Y. Future impacts of climate change on inland Ramsar wetlands. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 1, p. 45-51, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-020-00942-2>.
151. ZHANG, K., GANN, D., ROSS, M., ROBERTSON, Q., SARMIENTO, J., SANTANA, S., FRITZ, C. Accuracy assessment of ASTER, SRTM, ALOS, and TDX DEMs for Hispaniola and implications for mapping vulnerability to coastal flooding. **Remote Sensing Environment**. 225, 290–306. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.028>.
152. ZHANG, Y.; DU, J.; GUO, L.; SHENG, Z.; WU, J. ZHANG, J. Water Conservation Estimation Based on Time Series NDVI in the Yellow River Basin. **Remote Sensing**, v.13, n.6, 1105. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13061105>
153. ZHOU, Y.; ZHOU, Y.; LIU, H.; LI, Y.; WANG, C.; WRIGHT, A. Coastal wetland restoration framework based on hydrogeomorphic units of the coastal wetland of Yancheng, China. **Ocean & Coastal Management**, v.243, p.106737, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106737>.
154. WANG, C.; QI, J.; MORAN, S.; MARSETT, R. Soil moisture estimation in a semiarid rangeland using ERS-2 and TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 2, pp. 178-189. 2004.
155. WANG, Z.; YANG, Z.; SHI, H.; HAN, F.; LIU, Q.; QI, J.; LU, Y. Ecosystem Health Assessment of World Natural Heritage Sites Based on Remote Sensing and Field Sampling Verification: Bayanbulak as Case Study. **Sustainability**, vol. 12, nº 7, janeiro de 2020, p. 2610. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12072610>.
156. WITTMANN, F.; HOUSEHOLDER, E.; LOPES, A.; WITTMANN, A. O.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. Implementation of the Ramsar Convention on South American wetlands: an update. **Research And Reports In Biodiversity Studies**, p.47, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.2147/rrbs.s64502>.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.