



# Revista Brasileira de Geografia Física

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



## Mapeamento Geoambiental do Oeste do Paraná

Anderson Sandro da Rocha<sup>1</sup>, Tharsos Hister Giovanella<sup>2</sup>, Gabriel Kraemer Zatti<sup>3</sup>, Fabrício Correia de Oliveira<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Professor e Pesquisador na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Santa Helena - Paraná - Brasil. Doutor em Geografia (Análise Ambiental) pela UEM - Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Geografia pela UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Graduado em Geografia pela UNIOESTE., E-mail: [andersonsdr@gmail.com](mailto:andersonsdr@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9225-8209>

<sup>2</sup>Estudante do curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Santa Helena. Pesquisador em Agrometeorologia e Irrigação. E-mail: [tharsoshg@gmail.com](mailto:tharsoshg@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7890-5297>

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, E-mail: [zatti@alunos.utfpr.edu.br](mailto:zatti@alunos.utfpr.edu.br) ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2495-7673>

<sup>4</sup>Professor e Pesquisador na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Santa Helena (UTFPR - SH), Brasil. Doutor em Ciências pelo programa de Engenharia de Sistemas Agrícolas - Universidade de São Paulo, USP (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ - Departamento de Engenharia de Biosistemas). Mestrado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD área de concentração em Engenharia de Águas e Solos. Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD (2011). E-mail: [fcoliveira@utfpr.edu.br](mailto:fcoliveira@utfpr.edu.br) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7373-0667>

Artigo recebido em 23/09/2023 e aceito em 22/05/2024

### RESUMO

O mapeamento geoambiental busca a representação espacial dos elementos físico-naturais da paisagem e suas interações com atividades antrópicas em diferentes escalas de análise. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a caracterização geoambiental do espaço regional, com análises e mapeamentos importantes para o conhecimento da distribuição geográfica dos aspectos físico-naturais (geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, climáticos, fitogeográficos e pedológicos), bem como das potencialidades ecológicas e da apropriação antrópica da paisagem pelo uso e cobertura da terra no contexto do Oeste paranaense. Para a realização do inventário de dados ambientais foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, bem como trabalhos de campo para reconhecimento das potencialidades ecológicas. Ao final na pesquisa observou-se que, os mapeamentos realizados poderão contribuir com o zoneamento ambiental e com a ampliação de informações espaciais e quantitativas dos elementos físico-naturais. Além de proporcionar o conhecimento de diferentes variáveis geoambientais e demonstrar o panorama atual da utilização dos recursos naturais em escala regional, também poderá contribuir com a inserção de dezenas de planos de informações georreferenciados, que se configuram como importantes para construção do geodatabase regional denominado de Portal Geoeste, atualmente em desenvolvimento. Esses produtos cartográficos poderão ainda subsidiar o planejamento ambiental e territorial no âmbito regional.

Palavras-Chave: Geoprocessamento; espaço regional; análise ambiental; uso e cobertura da terra.

## Geoenvironmental Mapping of West Paraná

### ABSTRACT

The Geoenvironmental mapping seeks the spatial representation of the physical-natural elements of the landscape and their interactions with anthropogenic activities at different scales of analysis. In this sense, the present work aims to present the geoenvironmental characterization of the regional space, with important analyzes and mappings for understanding the geographic distribution of physical-natural aspects (geological, hydrogeological, geomorphological, climatic, phytogeographic and pedological), as well as the ecological potentialities and the anthropic appropriation of the landscape through land use and cover in the context of Western Paraná. To carry out the environmental data inventory, geoprocessing and remote sensing techniques were used, as well as fieldwork to recognize ecological potential. At the end of the research, it was observed that the mapping carried out contributed to environmental zoning and the expansion of spatial and quantitative information on physical-natural elements. In addition to providing knowledge of different geoenvironmental variables and demonstrating the current panorama of the use of natural resources on a regional scale, it can also contribute to the insertion of dozens of georeferenced information plans, which are considered important for the construction of the regional geodatabase called Portal Geoeste, currently under development. These cartographic products may also support environmental and territorial planning at the regional level.

Keywords: Geoprocessing; regional space; environmental analysis; land use and cover.

## Introdução

A caracterização e o mapeamento geoambiental apresenta-se como um importante meio de análise espacial, aplicada em contextos locais, municipais e particularmente regionais. A análise dos aspectos físico-naturais específicos como estruturas geológicas, unidades geomorfológicas, declividade, distribuição fitogeográfica, clima, solos e recursos hídricos de forma integrada permite o conhecimento do potencial ecológico da paisagem. Esses conhecimentos, em associação com diagnóstico de uso e cobertura da terra, são fundamentais para o planejamento territorial e governança regional (Santos et al., 2007; Medeiros e Cestaro, 2020).

A análise das variáveis bióticas, abióticas e antrópicas, possibilita a integração de dados municipais e regionais que podem trazer uma série de informações úteis para a gestão, monitoramento e zoneamento ambiental. Estudos brasileiros com enfoque na temática da análise geoambiental em diferentes escalas, desenvolvidos em nível municipal como de Rademann (2018), Dutra e Robaina (2022), ou com viés regional a exemplo de Dias e Oliveira (2013) e Medeiros e Cestaro (2020) e ainda em contextos estaduais como o de Santos et al. (2007), apontam a inter-relação dinâmica entre os elementos do meio físico-natural e a intervenção antrópica, como subsídio ao ordenamento territorial. Para esse conjunto de autores, a caracterização dos elementos litológicos, topográficos, hidrográficos, edafoclimáticos, em associação com os levantamentos das pressões antrópicas, são fundamentais para análise geográfica espacial, utilizados em planos de manejo, projetos de licenciamento e planejamento ambiental.

Pesquisas recentes com foco no mapeamento dos atributos geomorfológicos têm utilizado modelos digitais de elevação, variáveis de amplitude altimétrica, declividade, índice de posição topográfica, como subsídio para determinação e mapeamento de unidades geoambientais (Siqueira et al, 2022; Silveira et al., 2023). A definição dessas unidades geoambientais em associação com aspectos geológicos e geomorfológicos em diferentes escalas vem auxiliando na identificação das áreas de alta susceptibilidade a erosão, trazendo assim, subsídios para a proposição de recomendações de uso antrópico, conforme o funcionamento de cada compartimentos paisagísticos regional.

Análises geoambientais correlacionado informações das características morfométricas em associação com dados geomorfológicos e a variação das classes de solos, tem permitido identificar, dentro de contextos regionais, as áreas de maior vulnerabilidade ambiental (Neto e Silva, et al., 2022). Essas análises, quando associadas ao uso e cobertura da terra, possibilitam determinar ambientes de alta fragilidade, bem como identificar os setores com conflito de uso antrópico.

A maioria dos problemas e impactos ambientais ocorrem devido à ausência de planejamento sistêmico das condições geoambientais vigentes. Desse modo, por meio da realização dos levantamentos que subsidiem o zoneamento ambiental, torna-se possível avaliar as condições encontradas que, posteriormente, possibilitará a efetivação de ações, apontando alternativas que possam favorecer um ordenamento territorial mais compatível com a realidade in loco (Anjos e Carvalho, 2020). Nesse sentido, pesquisas de caracterização geoambiental se tornam cada vez mais necessárias, pois colaboram de maneira consistente, com o reconhecimento aprofundado de uma determinada região, posto que, esse tipo de estudo, aliado aos mapeamentos dos aspectos físicos-naturais, constitui ferramenta essencial em avaliações ambientais estratégicas, especialmente, em casos de intervenção humana (Ribeiro et al., 2022).

A caracterização geoambiental tem alcançado uma notável especificidade local, impulsionada pelos avanços das tecnologias geoespaciais, sobretudo nas áreas de geodésia, fotogrametria, geofísica, ciência da computação, geoestatística, sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG) (Girão et al., 2022). No entanto, a aplicação dessas tecnologias requer a integração de diversos bancos de dados, que frequentemente apresentam formatos distintos ou escalas que dificultam a comparação abrangente dos diferentes ambientes e condições locais (Siqueira et al., 2022; Pereira et al., 2022). Nesse contexto, a síntese e análise de dados, aliadas à elaboração de cartas ou mapas, emergem como ferramentas facilitadoras para a disseminação de informações geoambientais no âmbito local e regional.

De acordo com Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2003) a região Oeste tem apresentado no início do século XXI grande destaque ao nível estadual nos setores agropecuário, industrial e geoturístico. No entanto, a falta de projetos que integrem dados

ambientais e agropecuários, bem como, novas tecnologias associadas ao planejamento e desenvolvimento territorial, podem inibir o conhecimento das potencialidades e fragilidades ambientais e agropecuárias da região.

Atualmente há um crescente número de trabalhos que buscam oferecer novas soluções metodológicas em relação ao planejamento e gestão ambiental no sentido de compreender e mitigar as influências antrópicas sobre os processos naturais. Estas novas metodologias, em sua maioria, utilizam o geoprocessamento, cuja aplicação é um valioso recurso de apoio, possibilitando avaliar o potencial dos recursos físico-naturais e bióticos da paisagem mediante a análise integrada de seus componentes. Estas técnicas viabilizam a gestão e simulações de cenários futuros, dentre inúmeras outras aplicabilidades (Santos et al., 2007).

Conforme demonstra Finck et al. (2024), os trabalhos regionais com foco no mapeamento ambiental, vem adotando como estratégia a utilização de dados espaciais georreferenciados, para modelagem de dados, através do auxílio de SIGs abertos. Para os autores as técnicas de geoprocessamento atuais, permitem manipular uma grande variedade de dados e informações, trazendo a possibilidade de representação e elaboração de novos produtos cartográficos.

O histórico e a dinâmica atual dos municípios que abrangem a região Oeste criam uma demanda por projetos voltados ao conhecimento das características econômicas, agrícolas, pecuárias e principalmente ambientais. Tais projetos podem ser alcançados com a compilação e integração de dados geoespaciais (conjunto de dados georreferenciados), que permitam avaliar o cenário atual e elaborar propostas de desenvolvimento futuro (Rocha et al., 2018).

Estudos recentes realizados no Oeste paranaense têm apontado a necessidade de ampliação das pesquisas na perspectiva da análise integrada da paisagem, visando melhor representação dos fatores naturais em associação com os aspectos antrópicos na determinação das fragilidades naturais e emergentes (Ribeiro et al., 2022; Veloso et al., 2023). Os autores demonstram que as cartas temáticas ambientais, podem servir de base para diferentes metodologias de análise, gerando produtos de síntese, que podem ser úteis para o planejamento urbano e rural.

Nesse mesmo contexto, Kawano et al. (2020), aponta que pluralidade das atividades

agrícolas e pecuárias em determinados setores e regiões, encontra-se bastante associada às potencialidades edafoclimáticas e geomorfológicas, bem a disponibilidade dos recursos hídricos presentes nas regiões paranaenses. Segundo os autores, as variações em relação ao nível de dissecação do relevo, as classes de solo e a variabilidade de precipitação podem ser determinantes para diversificação e planejamento das atividades agrícolas, podendo interferir na rentabilidade e na conservação ambiental das propriedades inseridas nos espaços essencialmente agrícolas como os da região Oeste.

Para Plassin et al. (2020), o grande desafio de projetos de governança ambiental remete à necessidade atual de criação de “*socio-environmental geodatabase*”, ou seja, na formação de banco de dados socioambientais, com amplo número de variáveis e dados geofísicos, biofísicos e socioespaciais, com utilização de geotecnologias que possam ser disponibilizadas para os diferentes órgãos públicos e privados e principalmente ser úteis em projetos interdisciplinares.

A partir de bases de dados que intercomunicam diferentes tipos de informações podem ser desenvolvidos projetos visando a identificação de padrões de mudança ambiental (Sartório e Maier, 2022); vulnerabilidade e riscos à seca (Cangiano et al., 2023); vulnerabilidade e riscos de desastres naturais (Ye, 2022); efeito de mudanças climáticas (Chagas et al., 2022); planejamento de desenvolvimento rural e urbano (Garcia e Araújo, 2021); entre outras aplicações.

Considerando o leque de possibilidades que as informações geoambientais proporcionam e os desafios de compilar e analisar estas informações para o mapeamento da região Oeste do Paraná, este trabalho teve como objetivo apresentar a caracterização geoambiental do espaço regional, por meio de análises, mapeamentos e discussões importantes para o conhecimento da distribuição geográfica dos aspectos geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, climáticos, fitogeográficas e pedológicos, bem como das potencialidades ecológicas e da apropriação antrópica da paisagem pelo uso e cobertura da terra no contexto do Oeste paranaense.

## Material e métodos

### Localização da Área de Estudo

A Mesorregião Oeste do Estado do Paraná (Figura 1), abrange um total de 50 municípios, com

Para a elaboração do mapeamento geoambiental da mesorregião foi necessário um conjunto de etapas, envolvendo aquisição, tratamento, manipulação de dados de geoprocessamento e dados quantitativos, por meio dos quais foi possível realizar a análise e a produção de documentos cartográficos dos diferentes aspectos físicos-naturais, conforme descritos em seguir.

A análise e o mapeamento dos aspectos temáticos geológicos, hidrogeológicos e dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), foram realizados por meio da aquisição de bancos de dados e informações espaciais recentes.

mapeamento foi disponibilizado em formato *shapefile* pelo Repositório Institucional de Geociências do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2021) na escala de 1:250000. Para representação cartográfica, foram obtidos os dados da área que compreende a mesorregião Oeste e posteriormente selecionados os planos de informação contendo os dados de litologia e estruturas geológicas, permitindo a representação das principais formações rochosas e a delimitação dos principais lineamentos e falhas. Para o mapeamento hidrogeológico e representação das unidades aquíferas foram utilizados os dados do mapeamento do zoneamento econômico ambiental do Paraná disponibilizado pelo IAT (2022). Os mapeamentos geológicos e hidrogeológicos foram recentemente revisados pelos órgãos competentes e apresenta o resultado mais atualizado da distribuição litológica e hidrogeológica do estado, sendo recomendado conforme as publicações para análise de cunho regional em função da escala de 1:250000.

4444

dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2023). Nessa etapa foram selecionados os poços com registro nos 50 municípios presentes na região. Posteriormente foram adquiridos os dados com nível estático mínimo e máximo e dados de vazão de cada poço. Os dados foram coletados com a ferramenta de seleção municipal que permite o acesso de todos os poços com registro. Todos os dados de vazão e profundidade dos poços foram inseridos por município em uma planilha de dados e posteriormente agrupados em uma tabela de atributos para representação em mapas e gráficos em nível regional. Para obtenção dos valores mínimo, médio e máximo foi utilizada a ferramenta de calculadora de campo de software QGIS, amplamente utilizada para análise de dados estatísticos.

Para o levantamento dos dados dos recursos hídricos superficiais, foram utilizados os planos de informação da rede de drenagem e dos dados das principais unidades hidrelétricas disponibilizadas pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos - SNIRH (ANA, 2023).

#### *Análises Geomorfológicas, Pedológicas e Fitogeográfica*

As cartas temáticas hipsometria foram elaboradas a partir dos dados da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Para tanto foi construído um mosaico a partir das imagens com resolução espacial de (~30 m), disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, através do projeto Topodata (INPE, 2023). A partir do mosaico foram separadas as classes altimétricas com variação de cotas de 100 m.

Os dados de declividade, das unidades geomorfológicas e das unidades fitogeográficas foram obtidos pelo site do IAT (2023), enquanto o mapeamento de solos, foi gerado a partir do Mapeamento de Pedológico do Paraná desenvolvido por Bhering et al. (2007), posteriormente revisado e disponibilizado pelo Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA - IBGE, 2023). Ambos os mapeamentos foram disponibilizados na escala de 1:250000. Todo o processamento dos arquivos vetoriais e matriciais foram desenvolvidos e representados cartograficamente com Software QGIS 3.10.10.

Para melhor caracterização dos aspectos geomorfológicos e pedológicos, também foram consultados trabalhos e teses científicas, referente às unidades geomorfológicas e os levantamentos

dos sistemas pedagógicos, além de incursões de campo, para registro fotográfico.

#### *Análises Climáticas: Precipitação, Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Evapotranspiração*

Em relação aos aspectos climáticos da região, foram analisados os seguintes elementos meteorológicos: precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, evapotranspiração. Além disso, com base nestes parâmetros foi realizada a classificação climática de Koppen e Geiger adaptada (Rolim et al., 2007). Para construção do mapa de precipitação foram retirados dados de precipitação do Sistema de Informações Hidrológicas do IAT (<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>), que agrega dados da rede pluviométrica do IAT e da ANA (Agência Nacional de Águas). Os dados foram coletados para os 50 municípios da Mesorregião Oeste do Paraná, em escala mensal, no intervalo de 01 de janeiro de 1991 a 31 de dezembro de 2020. Em seguida, foi realizada a soma dos valores mensais para gerar os valores anuais, que deram origem a média de 30 anos, formando a normal climatológica. A composição do mapa foi feita no Software QGIS 3.10.10, por meio da extensão *Smart-Map*. Os dados foram interpolados a partir dos pontos em cada um dos municípios. A interpolação utilizada foi do tipo Krigagem Ordinária, realizada com o modelo Linear com Patamar, que apresentou maior índice de correlação na validação cruzada.

Os mapas de temperatura média do ar, umidade relativa do ar e evapotranspiração foram feitos com dados de reanálise obtidos da plataforma de dados ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) ERA5-Land. Esta base de dados possui alta resolução espacial, de 9 x 9 km, apresentando alta correlação com dados observados em superfície (Muñoz-Sabater et al., 2021; Wang et al., 2022). Em estudos realizados no Brasil, os dados de temperatura do ERA5-Land apresentaram erros inferiores a 1 °C, os de umidade relativa do ar apresentaram erro inferior a 8% e evapotranspiração potencial com erro menor que 0,6 mm dia<sup>-1</sup> (Araújo et al., 2022; Matsunaga et al., 2024).

Os dados foram baixados em escala mensal, também no período de 01 de janeiro de 1991 a 31 de dezembro de 2020, para um ponto com coordenadas geográficas dentro dos limites de cada município. As variáveis retiradas foram: temperatura média do ar a 2 m de altura, radiação

líquida, temperatura de orvalho e as componentes U e V da velocidade do vento a 10 m de altura. Os dados de temperatura foram retirados em Kelvin e convertidos em °C. A umidade relativa do ar foi calculada a partir da temperatura de orvalho. A velocidade do vento a 10 m de altura foi calculada por meio das componentes U e V, sendo transformada para velocidade do vento a 2 m de altura. A evapotranspiração potencial foi calculada por meio da equação de Penman-Monteith, utilizando as variáveis de temperatura a 2 m de altura, radiação líquida, velocidade do vento a 2 m de altura e umidade relativa do ar (Allen et al., 1998). Os dados de temperatura média do ar, umidade relativa do ar e evapotranspiração potencial foram obtidos mensalmente e somados para gerar valores anuais no período de dados coletados, que deram origem à normal climatológica dessas variáveis.

Os mapas de temperatura média do ar e umidade relativa do ar foram feitos no *Software* QGIS 3.10.10, por meio da extensão *Smart-Map*. Os dados foram interpolados a partir dos pontos em cada um dos municípios. A interpolação utilizada foi do tipo Krigagem Ordinária, com o modelo Linear, que apresentou maior índice de correlação na validação cruzada. O mapa de evapotranspiração potencial foi realizado da mesma forma, porém com o modelo Gaussiano, que apresentou maior índice de correlação na validação cruzada (Castro et al., 2010; Xavier et al., 2011).

#### *Classificação do Uso e Cobertura da Terra*

A classificação e o mapeamento de uso e cobertura da terra da Mesorregião Oeste do Paraná foram realizados utilizando os sistemas de informação geográficos *Software* QGIS 3.10.10 e ArcMap 10.5. A classificação supervisionada de imagens foi realizada utilizando imagens do satélite europeu Sentinel-2, que oferece uma resolução espacial de 10 m. Os dados foram obtidos por meio do site europeu da European Space Agency (ESA, 2020), utilizando a aplicação Copernicus, por meio do qual foram coletadas as imagens dos dias 22 de outubro de 2020, e 1 de novembro de 2020. A escolha desse período foi devido à situação de plantio de culturas, para melhor diferenciação entre áreas de agricultura, pastagem, vegetação e corpos hídricos.

Para realização da classificação supervisionada foram selecionadas imagens com tratamento prévio, com correção atmosférica, visando aumentar a acurácia da classificação. Para

contemplar toda a área espacial da região Oeste foi necessário uso de 7 imagens multiespectrais do satélite, com as bandas B04, B03, B02 para composição RGB e bandas B08, B04 e B03 para composição de infravermelho próximo, todas tendo resoluções espaciais de 10 m.

Para gerar a composição de imagens em ambiente SIG, foi utilizada a ferramenta “Bandas Compostas” do ArcMap, por meio da qual foi gerada uma composição RGB. Para realizar o mapeamento do uso e cobertura da área de estudo foi utilizada a ferramenta de classificação supervisionada, na qual a classificação se deu a partir da coleta de amostras com os parâmetros de agricultura, vegetação, pastagem e corpos d’água, coletadas da camada do infravermelho próximo, que foi posteriormente exportada como arquivo de assinatura. Utilizando os dados coletados e os arquivos de assinatura, foi realizada a classificação de uso e cobertura com a ferramenta “Classificação de Probabilidade Máxima”. Utilizando a ferramenta extrair por máscara, foi realizado o recorte de cada quadrante da classificação, apenas no limite do polígono da área de interesse referente à Mesorregião Oeste. O resultado da classificação em arquivo matricial foi posteriormente inserido no software QGIS 3.10 para finalização e cálculo de área. O mapeamento também foi validado pela análise índice de concordância Kappa, que demonstrou nível de mapeamento excelente, com 97% de acerto de pontos.

Para a composição final dos mapas foram adicionados dois planos de informações, sendo um deles o arquivo no formato *shapefile* com a delimitação das áreas urbanas dos 50 municípios do Oeste, contendo o arquivo que foi vetorizado manualmente para maior precisão e acurácia da área urbana a partir da imagem RGB. Posteriormente foi inserido um segundo arquivo contendo um *shapefile* da malha rodoviária obtido no site do Departamento de Estradas de Rodagem (DER) do Paraná.

Os dados das malhas municipais e limite da mesorregião oeste, utilizados nos diferentes mapeamentos foram obtidos pelo site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

#### **Resultados e discussão**

Os mapeamentos realizados no espaço geográfico que compreende a mesorregião Oeste, permitiram discutir e espacializar em diferentes documentos cartográficos as distintas variações geoambientais caracterizadas pela diversidade



geológica, hidrogeológica, geomorfológica, pedológica, climática e fitogeográfica da região. Essa diversidade reflete a dinâmica físico-natural da paisagem, que expressa diferentes potenciais ecológicos e podem ser associados às diferentes atividades agrícolas, pecuárias e de preservação ambiental, observadas por meio da análise de uso e cobertura da terra.

#### *Mapeamento dos Aspectos Geológicos, Hidrogeológicos e dos Recursos Hídricos da Mesorregião Oeste do Paraná*

O arcabouço geológico da mesorregião Oeste é principalmente formado por rochas ígneas basálticas, oriundas de um conjunto de derrames

mesozóicos de período cretáceo inferior de idades próximas a 145 e 130 milhões de anos. Esses estratos intercalam basaltos maciços e basaltos vesiculares amigdaloides, com sequência de derrames próximos a 30 m de profundidade (Figura 2).

Especificamente na porção norte da região, as rochas ígneas apresentam contato direto com pequenos setores com formações sedimentares areníticas de idades mesozoicas do período cretáceo superior (Entre 100 e 66 milhões de anos), além de sedimentos inconsolidados de idade cenozoica do quaternário recente, associados particularmente aos bancos de areia e setores marginais do rio Paraná.

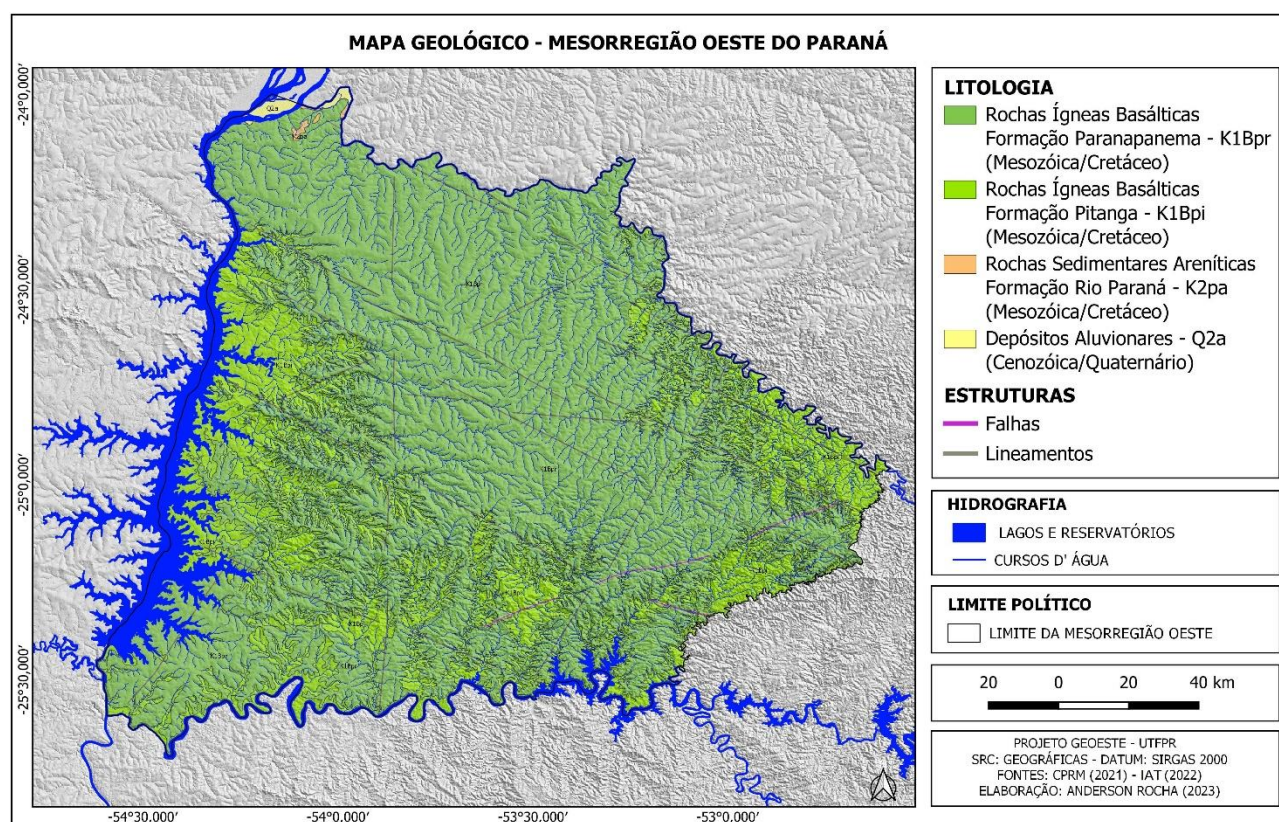


Figura 2. Mapa Geológico da Mesorregião Oeste do Paraná.

Em termos estruturais, podem ser observadas uma série de lineamentos no sentido sudeste-noroeste e norte-sul, além de quatro falhas geológicas no setor sudeste da região.

Por estar inserida na bacia sedimentar do Paraná, a região apresenta, em sua condição estratigráfica, algumas importantes diferenciações em termos de formações geológicas.

Os estratos geológicos de origem ígnea, compreendem as rochas do Grupo Serra Geral,

composta por vários traps basálticos, formados por um conjunto de derrames com direção e inclinação leste-oeste. Segundo o mapeamento mais recente (CPRM, 2021), ocorrem no Oeste duas formações marcantes. A Formação Paranapanema, que ocorre geralmente entre as altitudes entre 400 e 800 m, é formada por derrames pahoehe espessos e inflados nas partes superiores e camadas vulcanoclásticas na base da unidade geológica. Já nos setores menos elevados da região, entre 200 e

400 m de altitude, ocorre a Formação Pitanga, composta por derrames delgados de lavas básicas do tipo pahoehoe simples e/ou composto, associados a depósitos vulcanoclásticos máficos, apresentado como diferencial as intercalações de finas camadas de arenitos.

Além dos estratos basálticos, que compõem a formação predominante no Oeste, também pode ser observada uma zona de contato, onde estão presentes pequenas porções de rochas sedimentares do Grupo Caiuá.

As rochas do Grupo Caiuá compreendem estratos geológicos de formações sedimentares cujas rochas são predominantemente areníticas. Na região Oeste essas rochas apresentam inseridas nas altitudes entre 200 e 250 m, localizadas especificamente nos municípios de Guaíra e Terra Roxa. Segundo o mapeamento geológico (CPRM, 2021), as rochas sedimentares compreendem a Formação Rio Paraná, compostas por quartzarenitos finos a muito finos de cor marrom

avermelhado a arroxeado, geralmente com estratificações cruzadas de médio e grande porte. No setor norte da região, nas proximidades da foz do Rio Piquiri e particularmente ao longo da planície de inundação da Rio Paraná, observam-se depósitos aluvionares, compostos por sedimentos arenoargilosos inconsolidados, finos a médios, intercalados de restos de matéria orgânica, presença de seixos e areias finas a grossas, típicos de ambiente marginais, barras de canal e canais fluviais.

Essas duas estruturas geológicas são responsáveis pela dinâmica hidrogeológica e o aproveitamento dos recursos hídricos do Oeste. A região é composta principalmente pelo Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), localizado nos setores de basaltos fraturados (Figura 3), apresentado ainda em uma pequena porção do setor norte em contato com o Aquífero Caiuá (sobrepsto), além do Aquífero Guarani (sotoposto) em estratos sedimentares subjacentes.

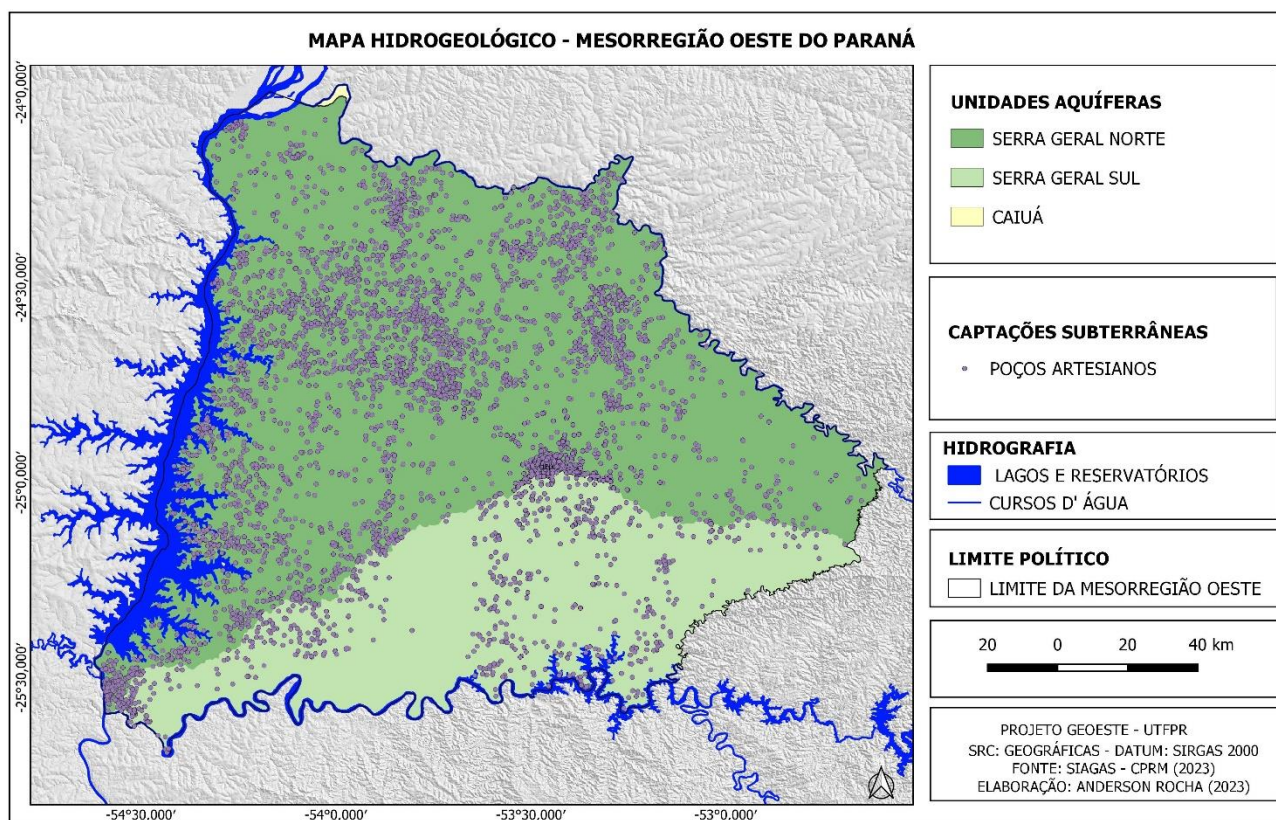


Figura 3. Mapa Hidrogeológico da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

Especificamente na região Oeste, os dados atualizados em sete de fevereiro de 2023 permitiram evidenciar a presença de 6.741 poços artesianos profundos com registro no Sistema de

Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) (Figura 3). Na região o nível estático dos poços varia entre 0 a 240 m de profundidade, sendo que a maioria dos poços apresenta profundidade



inferiores a 100 m. A vazão apresenta grande variabilidade entre 0,11 até 300 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Sendo que as maiores vazões são encontradas nos poços com profundidade superior a 110 m (Figura 4). Os municípios de Cascavel (1052 poços) e Toledo (926 poços) apresentam maior quantidade de poços, enquanto Anahy apresenta a menor quantidade (19 poços).

Estudos anteriores realizados em toda a área de abrangência do Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná, também evidenciaram as maiores vazões entre 100 e 150 m (Athayde e Athayde, 2015).

Em relação ao uso das águas subterrâneas, observa-se que a região Oeste apresenta grande concentração de poços no entorno das áreas urbanas, visando o abastecimento humano e

industrial, além de um importante número de poços concentrados em áreas rurais. No setor urbano os poços profundos ocorrem principalmente associado às maiores cidades como Cascavel (1052 poços), Toledo (926 poços), Foz do Iguaçu (395 poços), Marechal Cândido Rondon (338 poços). Já os poços localizados nas áreas rurais apresentam-se principalmente voltados ao suprimento das atividades agropecuárias, sendo verificados nas últimas décadas o aumento da utilização das águas subterrâneas voltadas para produção de aves e suínos. Na região Oeste o alto número de poços, e demanda crescente por água subterrânea encontra-se associada à alta produtividade agropecuária dos municípios (Deral, 2023) e ao aumento populacional das cidades, que reflete diretamente no aumento do consumo de água (IBGE, 2022).

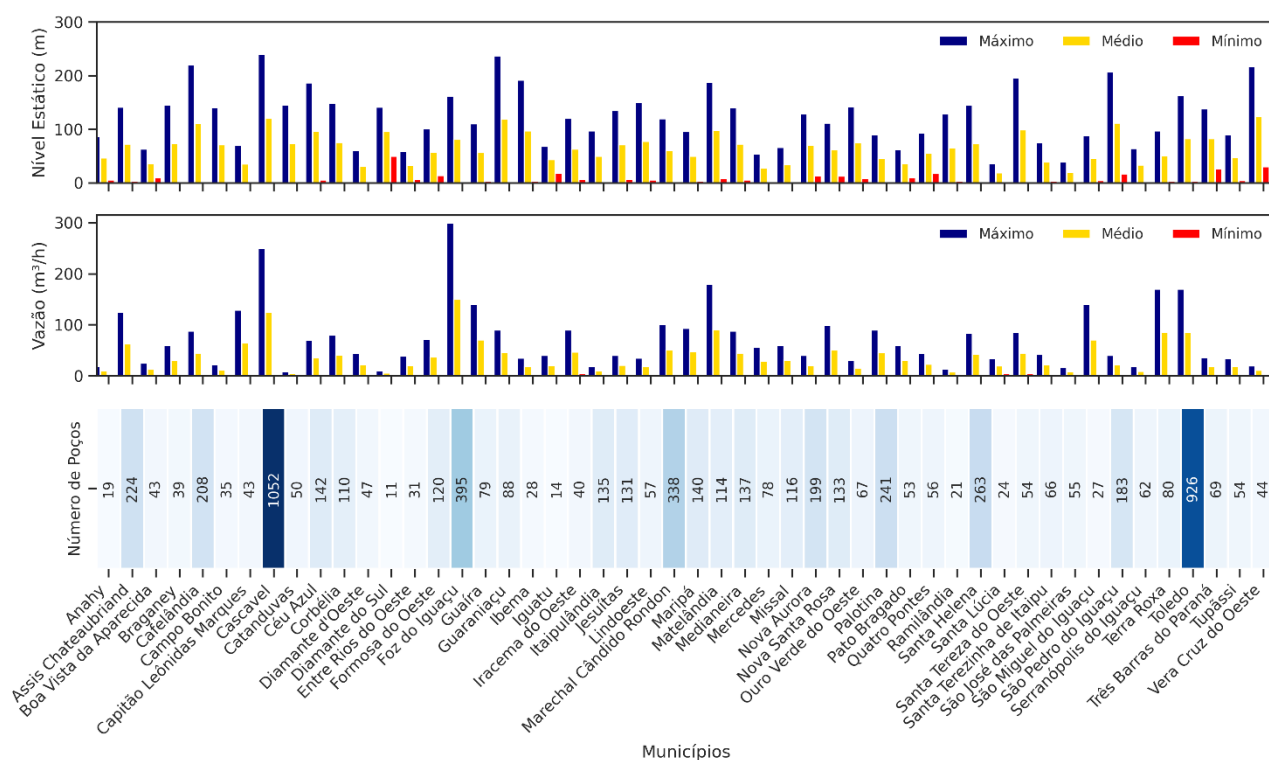


Figura 4. Variabilidade do Nível Estático, Vazão e Número de Poços da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

O aquífero Serra Geral, apresenta regionalmente duas divisões denominadas Serra Geral Norte e Serra Geral Sul (Figura 3). Essa divisão encontra-se associada à própria dinâmica hidrológica e topográfica que apresenta limites convergentes com os divisores de água das bacias do Rio Iguaçu, Rio Piquiri e do Paraná 3.

No Oeste, a bacia do Rio Piquiri compreende o conjunto de rios com direcionamento para o Norte, abrangendo a

margem esquerda dos setores do Médio e Baixo Piquiri. A bacia do Rio Iguaçu compreende a rede hidrográfica com direcionamento para Sul, abrangendo principalmente os rios da margem direita do baixo Iguaçu, enquanto que a unidade hidrográfica do Paraná 3 compreende um conjunto de cursos hídricos da margem esquerda do rio Paraná com direcionamento para reservatório de Itaipu (Figura 5).

As três principais unidades hidrográficas da região Oeste, também apresentam significativo aproveitamento dos seus recursos, principalmente na utilização do potencial hidrelétrico. O mapeamento dos recursos hídricos, utilizando informações do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2023) permitiu identificar e especializar três diferentes categorias de unidades hidrelétricas.

Na categoria de usina hidrelétrica (UHE), destaca-se na fronteira entre o Brasil e o Paraguai a Usina Binacional de Itaipu, uma das maiores do mundo em potencial de geração energia, instalada no rio Paraná. Já no Rio Iguaçu ocorrem duas usinas: a do Baixo Iguaçu e a do Salto Caxias. Na categoria de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), a região apresenta a PCH São Francisco no rio São Francisco Verdadeiro, PCH Moinho no rio Guaçu, ambas pertencentes a unidade hidrográfica

do Paraná 3 e a PCH Zeca Golin, anteriormente denominada de Fazenda do Salto, localizada no rio Sapucaia pertencente a bacia do Piquiri.

Na categoria das Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) são observadas duas centrais (CHG Toledo e CGH Padovani) na BPIII e três na bacia do Piquiri (CGH Garcia, CGH Melissa e CGH Bandeira Ronfim). Segundo o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNIRH, 2023), existem várias outras propostas de construção de usinas em estudo na área de abrangência do Oeste.

Conforme destacam Lima (2005) e Rocha et al. (2018), a instalação dessas unidades hidrelétricas e suas respectivas áreas alagadas, sobretudo as de médio e grande porte, são responsáveis por uma série de transformações ambientais, territoriais e socioeconômicas na região.

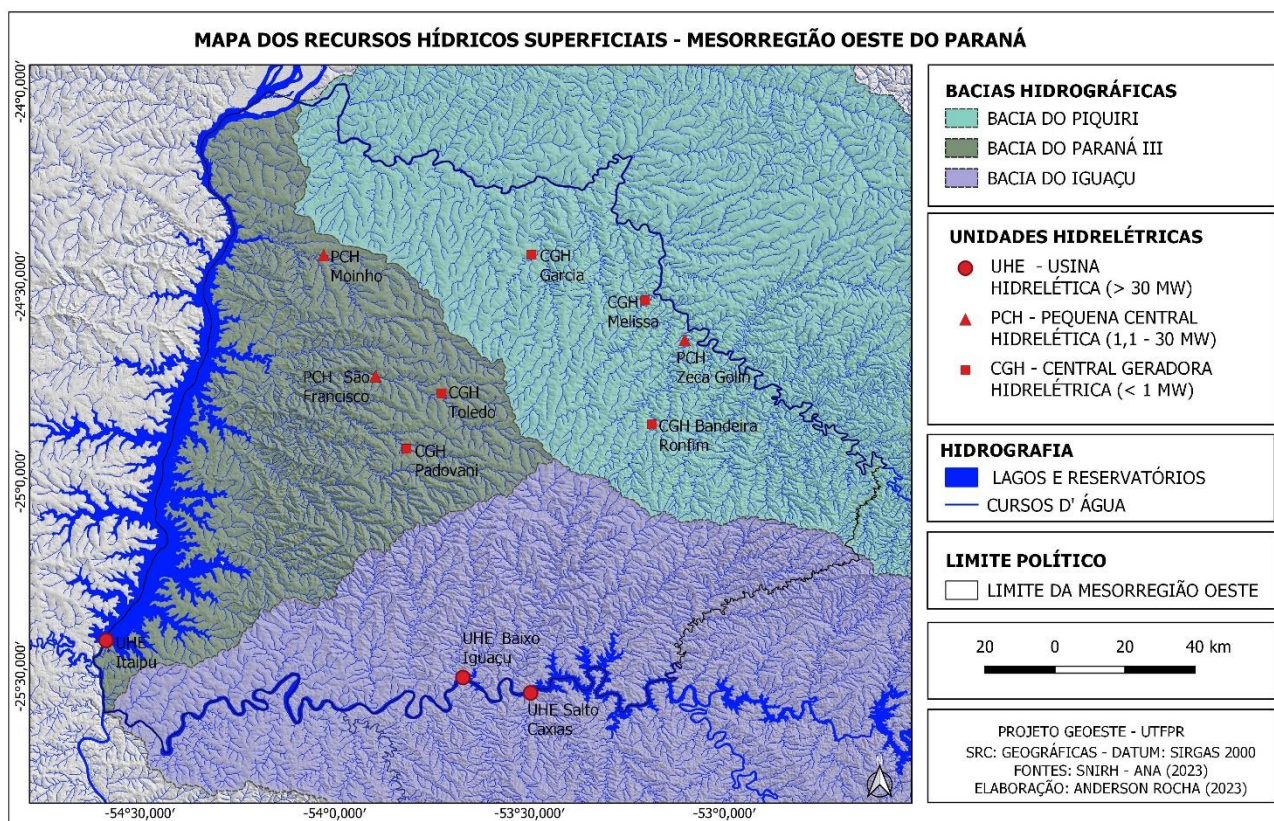


Figura 5. Mapa dos Recursos Hídricos Superficiais da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

O amplo aproveitamento dos recursos hídricos superficiais, encontram-se associados aos vários aspectos ambientais, como setores com inclinação favorável, pontos de rupturas geológicas e vazão favorável para aproveitamento hidrelétrico.

A condição hidrogeológica regional, também compõe uma ampla reserva de água subterrânea em seus aquíferos, que suprem várias demandas de uso da água. Segundo o relatório anual da Agência Nacional de Águas em 2021, no que se refere ao abastecimento urbano, pode se



constatar que um total de 37 municípios que apresentam captação de águas exclusivamente subterrâneas, sendo que apenas 3 municípios captam água superficial e um total de 10 municípios com uso compartilhado (superficial e subterrâneo) para o abastecimento das cidades. A região apresenta ainda vários poços com retiradas exclusivas para indústria e mineração, porém as maiores captações encontram-se relacionadas ao uso urbano e rural. O aproveitamento dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, demonstra uma grande demanda no uso da água em termos regionais, fato que evidencia a necessidade de novos mapeamentos visando a avaliação da segurança hídrica, bem como análises voltadas ao planejamento do uso da água das bacias hidrográficas e dos aquíferos presentes na região Oeste.

#### *Mapeamento dos Aspectos Climáticos da Mesorregião Oeste do Paraná*

A análise dos aspectos climáticos da mesorregião Oeste, permitiu avaliar os elementos meteorológicos: precipitação, temperatura do ar,

umidade relativa do ar, evapotranspiração em termos de média anual, considerando dados recentes de 30 anos de análise. Os mapeamentos demonstraram que a região apresenta estações de verão e inverno bem definidas, com clima subtropical quente e úmido, sem estação seca. A classificação de Koppen e Geiger adaptada (Rolim et al., 2007), considerando a normal climatológica de 1991 a 2020, indica a presença do clima Cfa em toda a região.

Em relação à distribuição espacial da precipitação pode-se observar variação entre 1525 a 2125 mm anual. Os maiores acumulados de chuva ocorrem nas maiores latitudes (25°S) e menores longitudes (53°W), principalmente nos municípios de Ibema (2110,3 mm), Boa Vista da Aparecida (2062,9 mm) e Catanduvas (1997,7 mm). Ao passo que os menores acumulados ocorrem nos municípios de Maripá (1557,5 mm), Terra Roxa (1638,4 mm) e Palotina (1656,8 mm). Considerando a mesorregião Oeste, a média e desvio padrão da precipitação acumulada anual é de  $1843,6 \pm 125$  mm (Figura 6).

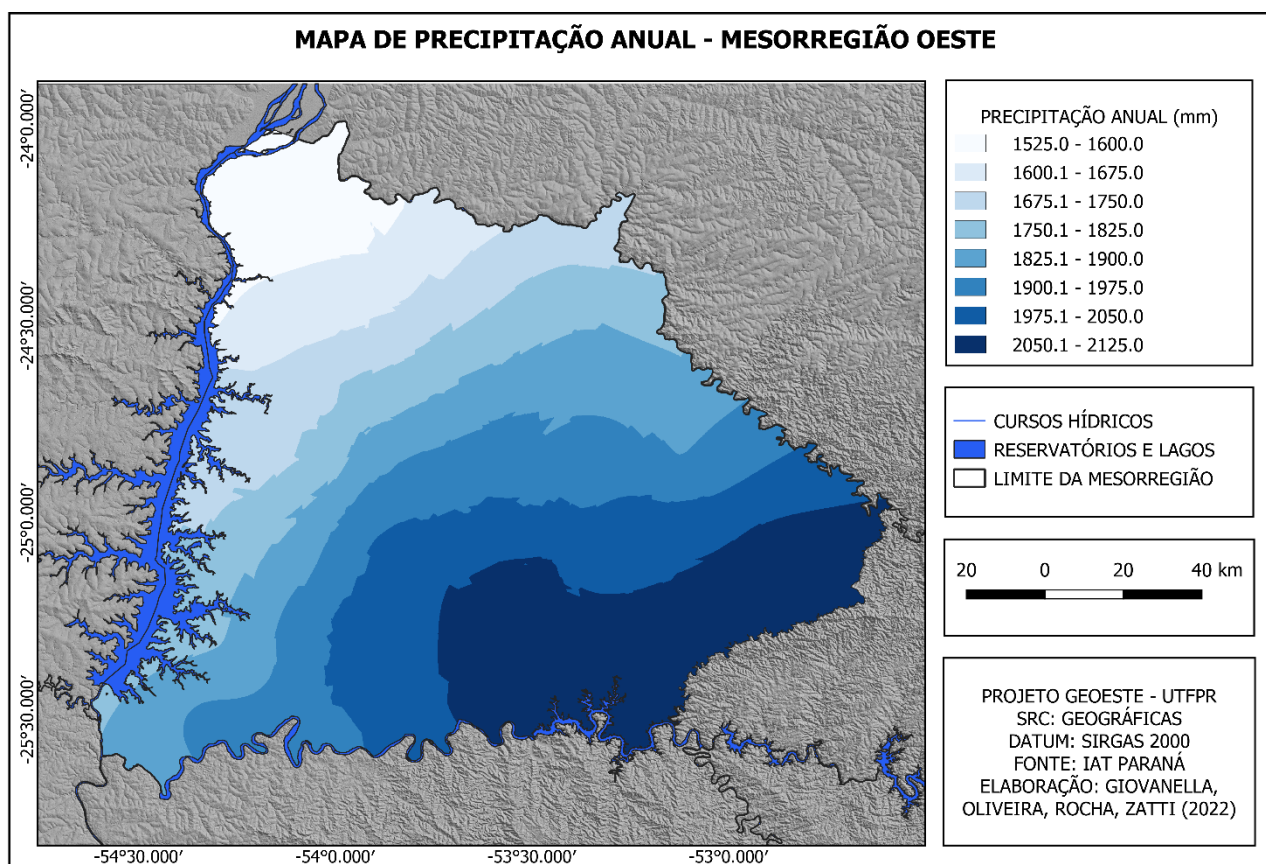


Figura 6. Mapa de Precipitação Anual da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

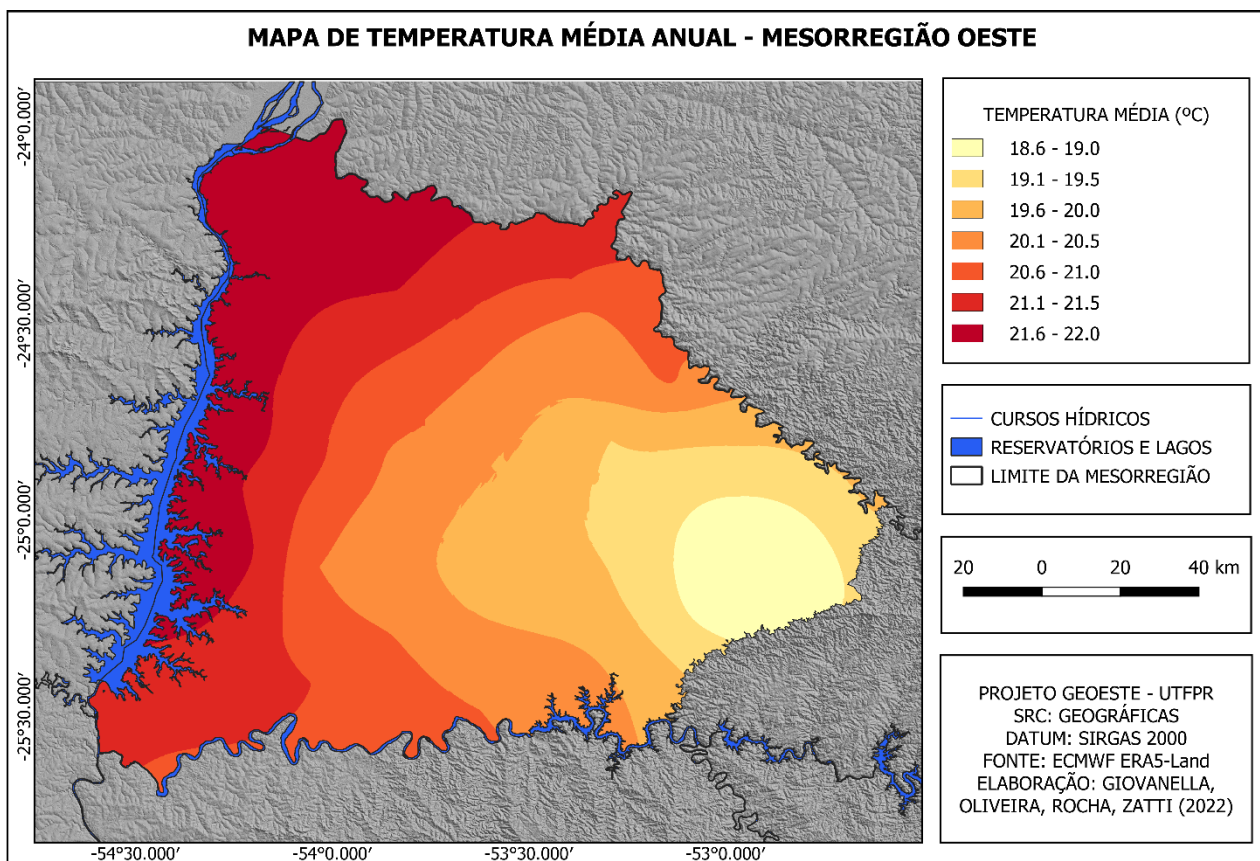


Figura 7. Mapa de Temperatura Média Anual da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

Os dados anuais, também evidenciam temperatura média do ar na região mais elevada nas menores altitudes, próximo ao reservatório de Itaipu e apresentam temperaturas mais baixas à medida que avança em direção ao setor leste.

O mapeamento da temperatura da região Oeste, evidenciou variação entre 18 e 22 °C na média anual (Figura 7).

Os municípios com maiores temperaturas são Pato Bragado (22,8 °C) e Marechal Cândido Rondon (22,7 °C). Em seguida, aparecem os municípios de Itaipulândia, Santa Helena, Missal e Palotina, todos com 22,6 °C de temperatura média do ar. Guaraniaçu, Ibema e Catanduvas apresentam as menores temperaturas, com valores de 19,2, 19,4 e 19,5 °C, respectivamente.

Analisando as precipitações na forma de chuva e a temperatura média em escala mensal, observa-se que os meses menos chuvosos são julho e agosto. O mês com maior precipitação acumulada é outubro. As menores temperaturas ocorrem nos meses de maio, junho e julho. As maiores ocorrem em janeiro e dezembro (Figura 8).

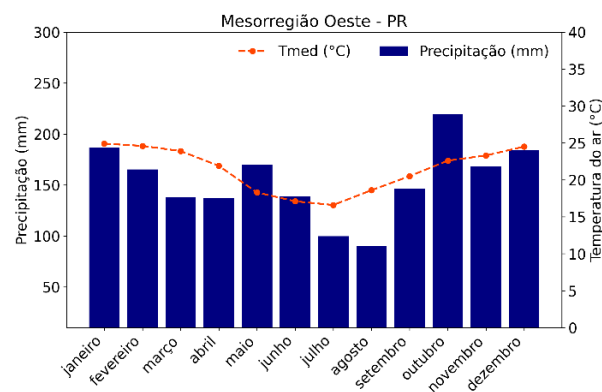


Figura 8. Variação da Precipitação Acumulada e Temperatura do Ar média mensal para Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

A análise dos aspectos climáticos também permitiu mapear a variação espacial de umidade (Figura 9) e evapotranspiração (Figura 10) no contexto do Oeste paranaense.

A distribuição da umidade relativa do ar (Figura 9), apresenta maiores valores (75,1 a 76,0%) nas localidades que apresentam maiores ocorrências de precipitação e com maior altitude.



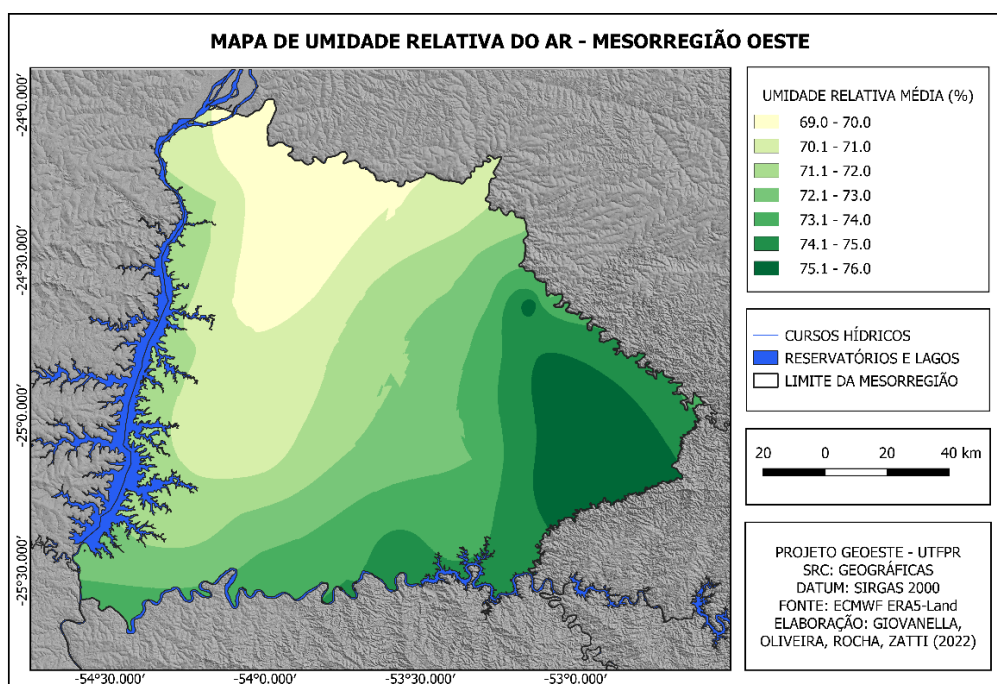


Figura 9. Mapa de Umidade Relativa média Anual da Mesorregião Oeste.

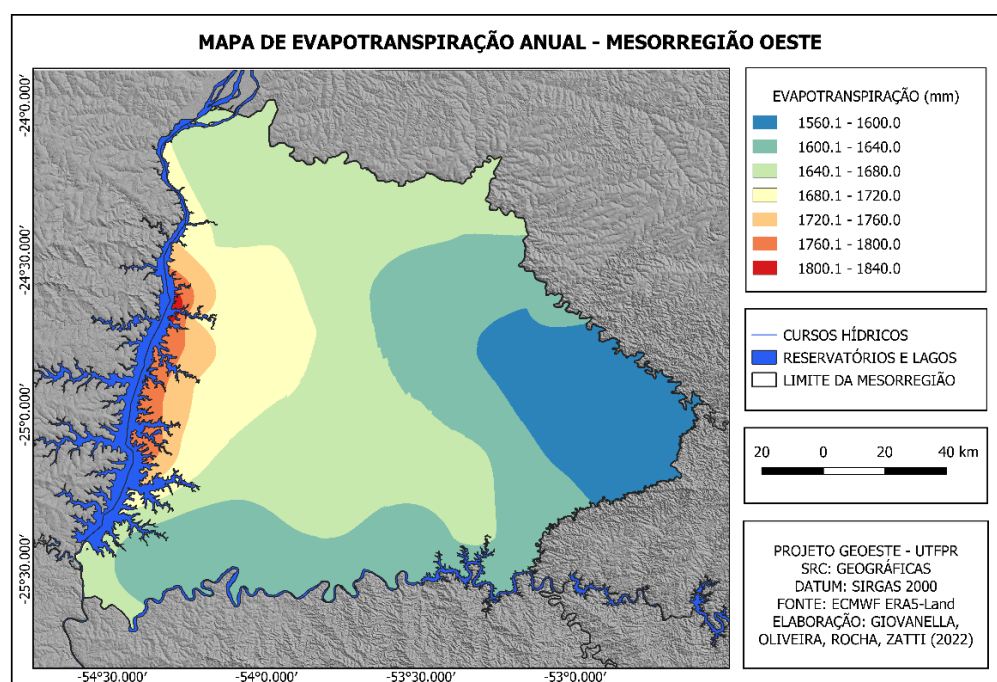


Figura 10. Mapa de Evapotranspiração média anual da Mesorregião Oeste.

Os menores valores de umidade apresentam (69,0 a 70,0%). A média e desvio padrão da umidade relativa do ar anual é de  $74,6 \pm 2\%$ . Em escala temporal, setembro é o mês com menor umidade relativa do ar (67,3%).

Na região Oeste também é possível observar variações em relação à evapotranspiração (Figura 10).

A evapotranspiração potencial, que corresponde a perda de água das superfícies vivas ou não para atmosfera, englobando os processos evaporação e transpiração, é um elemento meteorológico fundamental para o monitoramento climático de uma região (Almorox, Quej e Martí, 2015).

Os maiores valores de evapotranspiração ocorrem nas proximidades do reservatório de

Itaipu (Figura 10), locais de menor altitude, em que a temperatura do ar é mais elevada, aumentando a demanda da atmosfera por vapor de água. Nessa região, a umidade média do ar se mantém acima dos 70%, portanto, o termo radiativo é o principal fator responsável pela evapotranspiração. No setor leste da região, onde ocorrem os maiores valores de umidade relativa do ar, ocorrem os menores acumulados de evapotranspiração. Isso possivelmente devido à redução da diferença de potencial entre o ar e a superfícies evapotranspirantes (Oliveira et al., 2021).

A umidade relativa do ar tende a apresentar valores menores nos setores oeste e noroeste da mesorregião, que são locais de menor altitude. Entretanto, a parte mais a oeste, em que existe a presença do reservatório de Itaipu, sofre um ligeiro aumento na umidade relativa do ar, possivelmente resultante da presença do corpo d'água e da presença da mata ciliar. Isso evidencia a influência do reservatório sobre o clima regional. Na região norte da região, além da baixa altitude, a região também apresenta a temperatura média do ar mais alta, resultando em uma menor umidade relativa do ar.

A média e desvio padrão da evapotranspiração anual é de  $1651,8 \pm 45,3 \text{ mm ano}^{-1}$ . Em escala temporal, junho apresenta menor evapotranspiração média diária ( $3,0 \text{ mm dia}^{-1}$ ), enquanto novembro e dezembro apresentam

valores maiores médios diários ( $5,7 \text{ mm dia}^{-1}$ ) (Figura 8).

Os valores de evapotranspiração anual são menores na parte leste da mesorregião, onde também ocorrem valores menores de temperatura média do ar e a umidade relativa do ar é maior, resultando em uma menor demanda evaporativa nestes locais. Portanto, a elevação do terreno acarretou diminuição da temperatura média do ar e da evapotranspiração potencial e aumento da umidade relativa do ar e da precipitação acumulada, como pode ser observado nas Figuras 6, 7, 9, 10 e 12.

Em termos gerais, os resultados obtidos com dados meteorológicos do ERA5-Land corroboram com os obtidos com dados de estações de superfície (Nitsche et al., 2019) e ERA-Interim (Aparecido et al., 2016), porém apresentam maior nível de detalhamento, devido à maior escala espacial do mapa.

#### *Mapeamento Fitogeográfico da Mesorregião Oeste do Paraná*

O mapeamento fitogeográfico do Oeste do Paraná, permitiu identificar a predominância de duas grandes unidades fitoecológicas compostas pela Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual (Figura 11). Em menor proporção ocorre ainda a presença das Formações Pioneiras por influência lacustre no setor norte da área de estudo.

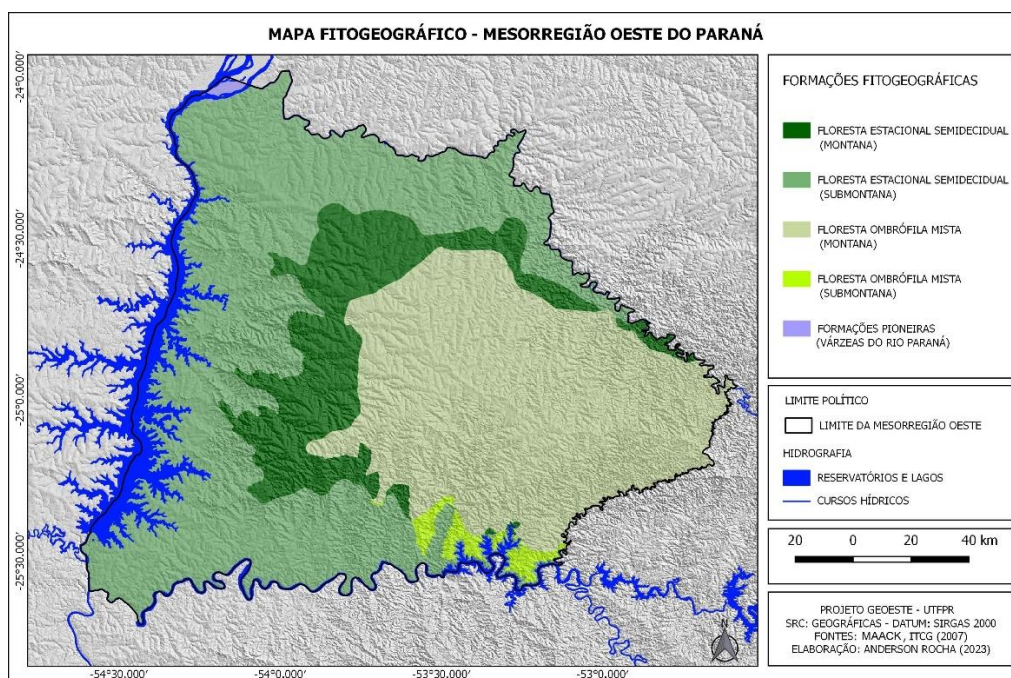


Figura 11. Mapa Fitogeográfico da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

Na região, a Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como mata de Araucária, ocupa principalmente os setores com altitude superior a 600 m e as áreas com climas mais amenos, com temperaturas médias anuais inferiores a 20 °C. Essa formação vegetal apresenta duas subdivisões: a montana e submontana.

Em termos fitoecológicos a Floresta Ombrófila apresenta como característica marcante a Araucária (*Araucaria angustifolia*), que apresenta Índice de Alto valor de Importância (IVI), por formar um estrato dominante e contínuo acima de 30 m ocorrendo esporadicamente a presença de emergentes acima de 40 m (Hornes; Rodrigues, 2018). As Florestas Ombrófilas Mistas apresentam características marcantes com a presença de dois estratos de formação: os superiores e inferiores. Das espécies comuns do estrato superior, pode-se citar como exemplo, além da Araucária, a Imbuia (*Ocotea porosa*), Canela-Guaicá (*Ocotea puberula*), Canela do-brejo (*Ocotea pulchella*), Pimenteira (*Capsicodendron dinisii*), Cambará (*Gochnatia polymorpha*) e a Erva-Mate (*Ilex paraguariensis*). Já no estrato inferior é comum a presença do Guamirim (*Calyptanthus*), Chá-de-bugre (*Casearia*) e o Camboatá Vermelho (*Cupania*) (Rodejan et al., 2002).

A outra unidade de grande destaque no Oeste, é a Floresta Estacional Semidecidual. Na região essa unidade compreende principalmente os setores entre 200 e 600 m de altitude, onde ocorrem temperaturas mais quentes nos setores onde a média anual é superior a 20 °C e menor precipitação, sobretudo nas áreas com média anual inferior a 1750 mm.

A Floresta Estacional apresenta como atributo fisionômico a ocorrência da semidecidualidade em períodos de estação desfavoráveis. A queda da folhagem correlaciona-se com frio intenso que determina o repouso fisiológico e queda parcial da folhagem, entre 20 a 50% (IBGE, 2012). Este período, denominado de repouso fisiológico, geralmente ocorre nos períodos de queda acentuada nos índices de precipitação e diminuição de temperatura no período de inverno. No Oeste paranaense verifica-se a presença desse fenômeno de queda parcial de folhagem nos meses de junho, julho e agosto, em que as quedas de temperaturas atingem médias mensais inferiores a 15 °C e os índices de precipitação apresentam valores inferiores a 150

mm mensais, conforme pode ser observado na figura 7.

Na região a Floresta Estacional subdivide-se entre submontana e montana, sendo a primeira a mais representativa. De acordo Roderjan et al. (2002), a Submontana representa a maioria dessa floresta e têm como características a espécie de Peroba Rosa (*Aspidosperma polyneuron*) como uma dominante no Dossel (entre 30 a 40 m). Outras espécies que são comuns nesta unidade são o Ipê-Roxo (*Tabebuia Heptaphylla*), Ipê-Amarelo (*Handroanthus vellosi*), PauMarfim (*Balfourodendron riedelianum*), Figueira (*Ficus luschnathiana*) e Painera (*Chorisia speciosa*) entre as de maior destaque.

Em menor proporção, situada especificamente nos setores próximos ao rio Paraná, observa-se a presença das formações pioneiras. Conforme destaca Hornes e Rodrigues (2018), essa vegetação corresponde às formações herbáceas dos abaciados úmidos. As famílias comuns nesta unidade consistem em *Cyperaceas*, *Poaceas* e *Typhaceas*. No contexto regional essas formações pioneiras ocupam principalmente os locais onde ocorrem solos com presença de hidromorfia, como, por exemplo, nos locais com Gleissolos e Neossolos Flúvicos influenciados pelo regime de cheias e vazantes do rio Paraná.

Em geral, as três unidades mapeadas no contexto do Oeste, apresentam forte correlação com os aspectos climáticos, topográficos e pedológicos do espaço em análise. Do ponto de vista da distribuição geográfica atual, observam-se poucos setores com a presença de vegetação natural e reflorestadas, sendo que parte importante das áreas de mata foram devastadas no processo de ocupação e expansão agrícola, restando apenas algumas importantes áreas remanescentes situadas nas unidades de conservação e nas áreas de preservação ambiental presentes na região.

#### *Mapeamento Geomorfológico e Pedológico da Mesorregião Oeste do Paraná*

A geomorfologia do Oeste paranaense é essencialmente composta por um conjunto de planaltos formados predominantemente por colinas, morros e morretes. A região apresenta grande amplitude altimétrica, com cotas que variam entre 100 e 900 m de altitude.

As maiores elevações se situam entre os divisores de água das bacias dos rios Piquiri e Iguaçu com cotas entre 700 e 900 m, sendo que as cotas mais baixas ocorrem predominantemente às



margens do reservatório de Itaipu no rio Paraná variando entre 100 e 300 m de altitude (Figura 12).

Embora predominante composta por planaltos, observa-se uma relevante variabilidade na topografia regional, sobretudo em termos de formas de relevo, declividade e morfologia das vertentes.

Regionalmente predominam relevos suaves ondulados e ondulados com declividade predominante inferior a 20%. As faixas entre 0 e 10% de declividade representam cerca de 70% da área total do Oeste, sendo que as faixas entre 10 e 20% compreendem cerca de 26% do território

regional. De forma setorizada, também se verificam relevos fortemente ondulados, onde as faixas de declividade variam entre 20 e 45%, representado pouco mais de 3% da área total, intercalados com declividades superiores a 45%, esses setores representam pouco menos de 1% do território (Figura 13).

As variabilidades topográficas e morfológicas do relevo regional, em associação com outros fatores ambientais, particularmente geológicos e climáticos, são responsáveis pela organização e distribuição de diferentes unidades morfoesculturais na região.

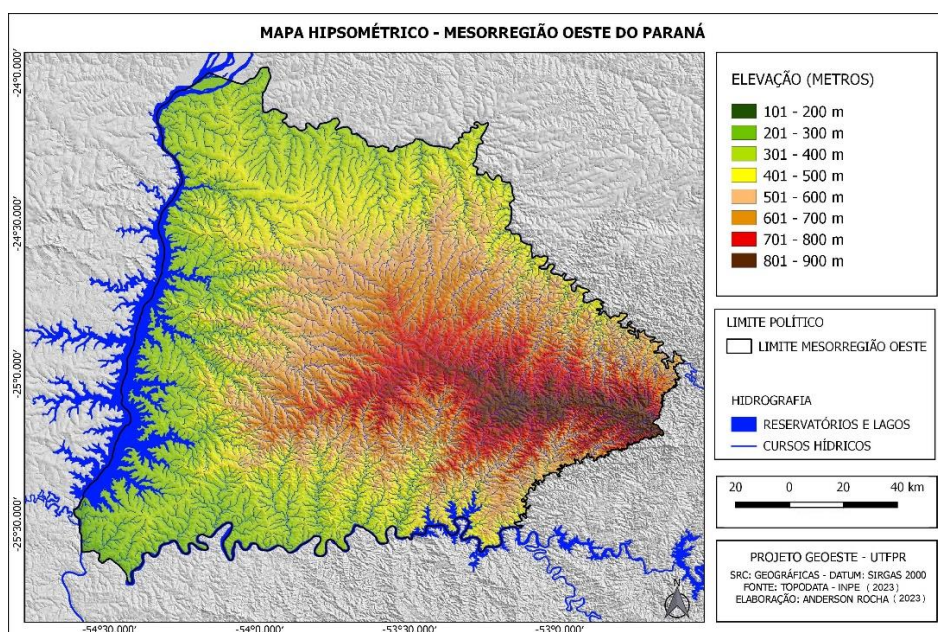


Figura 12. Mapa Hipsométrico da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

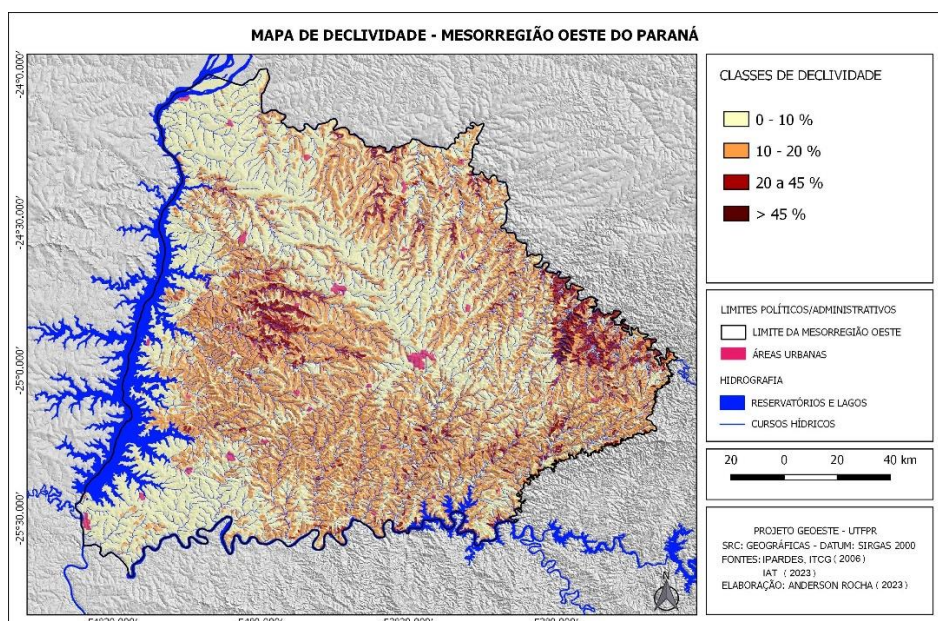


Figura 13. Mapa de Declividade da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.



De acordo com mapeamento geomorfológico do Paraná (Santos et al., 2006), podem ser verificadas no Oeste oito diferentes subunidades morfoesculturais, que abrangem integralmente os planaltos de Cascavel, São Francisco e Foz do Iguaçu e parcialmente os

planaltos de Alto/Médio Piquiri, Baixo Iguaçu, Umuarama e Campo Mourão, além da subunidade composta pelas planícies fluviais localizadas nos ambientes alagadiços do rio Paraná (Figuras 14 e 15).

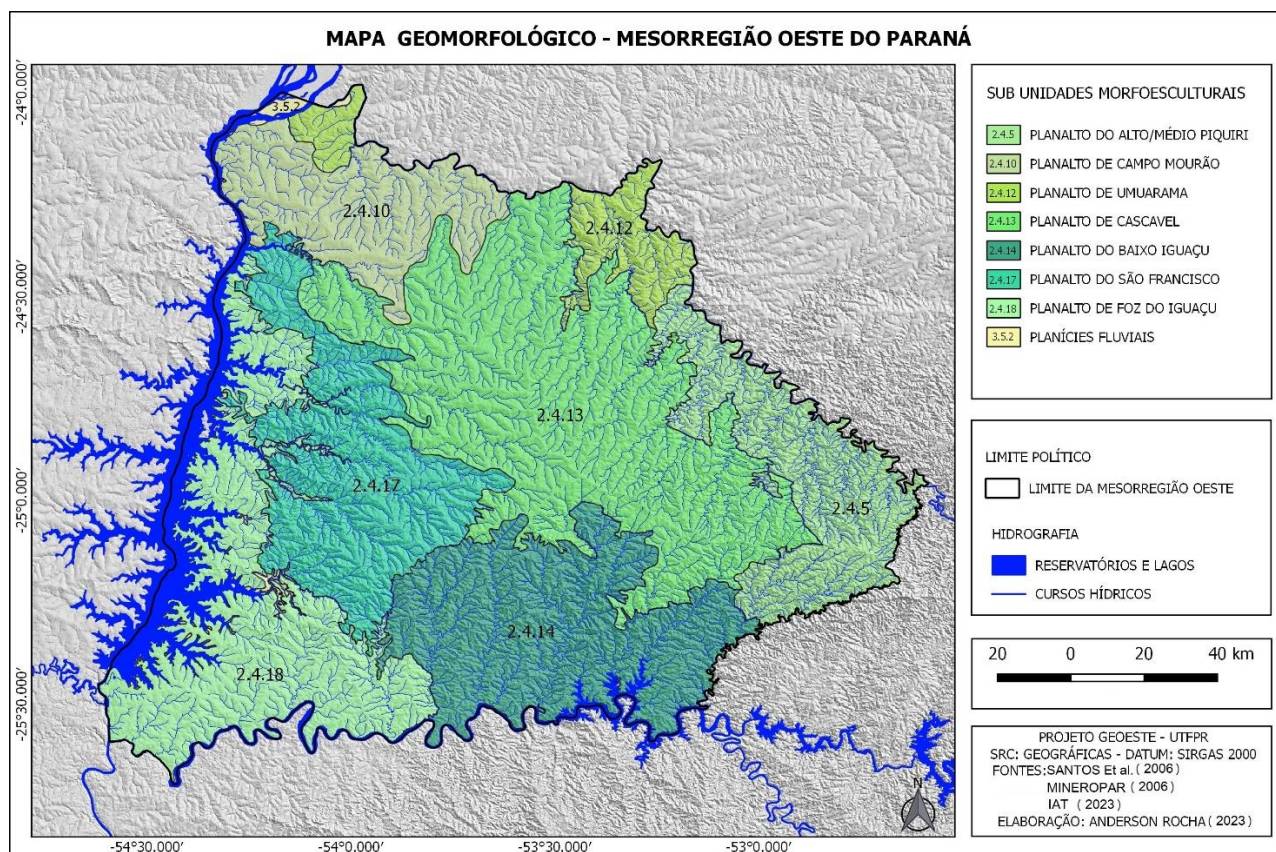


Figura 14. Mapa das unidades geomorfológicas da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

O planalto de Cascavel, situado entre as altitudes de 240 a 920 m, apresenta a unidade de maior extensão territorial do Oeste, geralmente apresenta relevos suaves ondulados, topos planos e alongados, vertentes convexas e retilíneas e vales em formato de V abertos. A declividade apresenta-se predominantemente inferior a 12%, evidenciando, entretanto, alguns setores com declividades entre 10 e 20%.

No extremo Oeste, encontra-se o planalto de Foz do Iguaçu, localizado entre as altitudes de 120 e 540 m às margens do lago de Itaipu. Esse planalto rebaixado compreende relevos planos e suave ondulados e pode ser caracterizado como o setor de menor dissecação da região, apresentando mais de 80% da sua área territorial declividades inferiores a 6%. Em termos morfológicos, verificam-se topos planos e curtos, vales em V

abertos, com vertentes retilíneas e convexas e de sopé de formato côncavo.

Os planaltos de maior dissecação na região Oeste são os planaltos de São Francisco, Baixo Iguaçu e Alto-médio Piquiri. Nesses setores ocorrem principalmente relevos ondulados e fortemente ondulados, compostos por morros e morretes, que apresentam declividades entre 10 e 45%. Os três planaltos comumente apresentam topos curtos e eventualmente em cristas, as vertentes também apresentam menor comprimento de rampa e geralmente maior diversidade de formas (retilíneas, convexas, convexas-retilíneas e convexas-côncavas). Os vales compõem formas em V e U no planalto de São Francisco e formas em V encaixado e V aberto, nos planaltos de Baixo Iguaçu e Alto Piquiri.

Os setores norte e noroeste da região, abrangem parcialmente os planaltos de Campo



Mourão e Umuarama, com menor representatividade territorial. Esses planaltos apresentam altitudes superiores a 220 m, atingindo em alguns setores da região cotas próximas a 500 m. Ambos os planaltos apresentam uma especificidade geológica, pois compreendem ambiente de contato entre rochas basálticas e areníticas. O planalto de Umuarama, apresenta

relevo plano e suave ondulado, topos aplainados e vertentes convexas e retilíneas, com declividades baixas inferiores a 10%. Enquanto o planalto de Campo Mourão apresenta relevos suaves ondulado e ondulado, dissecação baixa e moderada, geralmente com declividades entre 0 e 20%.



**A - PLANALTO DE CASCAVEL**



**B - PLANALTO DO SÃO FRANCISCO**



**C - PLANALTO DE FOZ DO IGUAÇU**



**D - PLANALTO DE CAMPO MOURÃO**



**E - PLANALTO DO BAIXO IGUAÇU**



**F - PLANALTO DO ALTO/MÉDIO PIQUIRI**

Figura 15. Representação fotográfica dos principais planaltos da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.



A região Oeste também compreende parcialmente a sub morfoescultural formada pela planície fluvial do rio Paraná. Esse ambiente caracteriza a área de planície alagadiça natural do rio Paraná, ou seja, sem influência do reservatório de Itaipu. Compreende, portanto, um conjunto de bancos de areia, formado por sedimentos lacustres de origem cenozóica, entremeados pelo leito natural do rio Paraná. Essa unidade apresenta grande fragilidade natural em função dos solos hidromórficos.

De acordo com Santos (2006), o mapeamento e variabilidade das subunidades morfoesculturais, demonstram, além da complexidade do relevo, as interações entre as formas de relevo, natureza das rochas, eventos tectônicos e sua dinâmica morfogenética. Estudos recentes sobre a dinâmica do relevo regional (Fernandez e Rocha, 2016; Silva, et al., 2020),

demonstram que o relevo regional apresenta diferentes superfícies geomórficas, em estágios diferenciados de erosão. Segundo os autores, esses estágios erosivos influenciam no nível de intemperismo dos solos, no nível de base local e particularmente nas interações solo-relevo.

No contexto do Oeste paranaense, as variações geomorfológicas em termos de declividade e morfologia das vertentes em associação com a condição geológica, se refletem principalmente na distribuição da cobertura pedológica.

De modo geral predominam no Oeste, as classes dos Latossolos Vermelhos, Nitossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos nos setores basálticos, sendo que nos setores onde ocorrem zonas de contato entre o basalto e arenito, ocorrem também os Argissolos (Vermelhos e Vermelho Amarelo) (Figura 16).

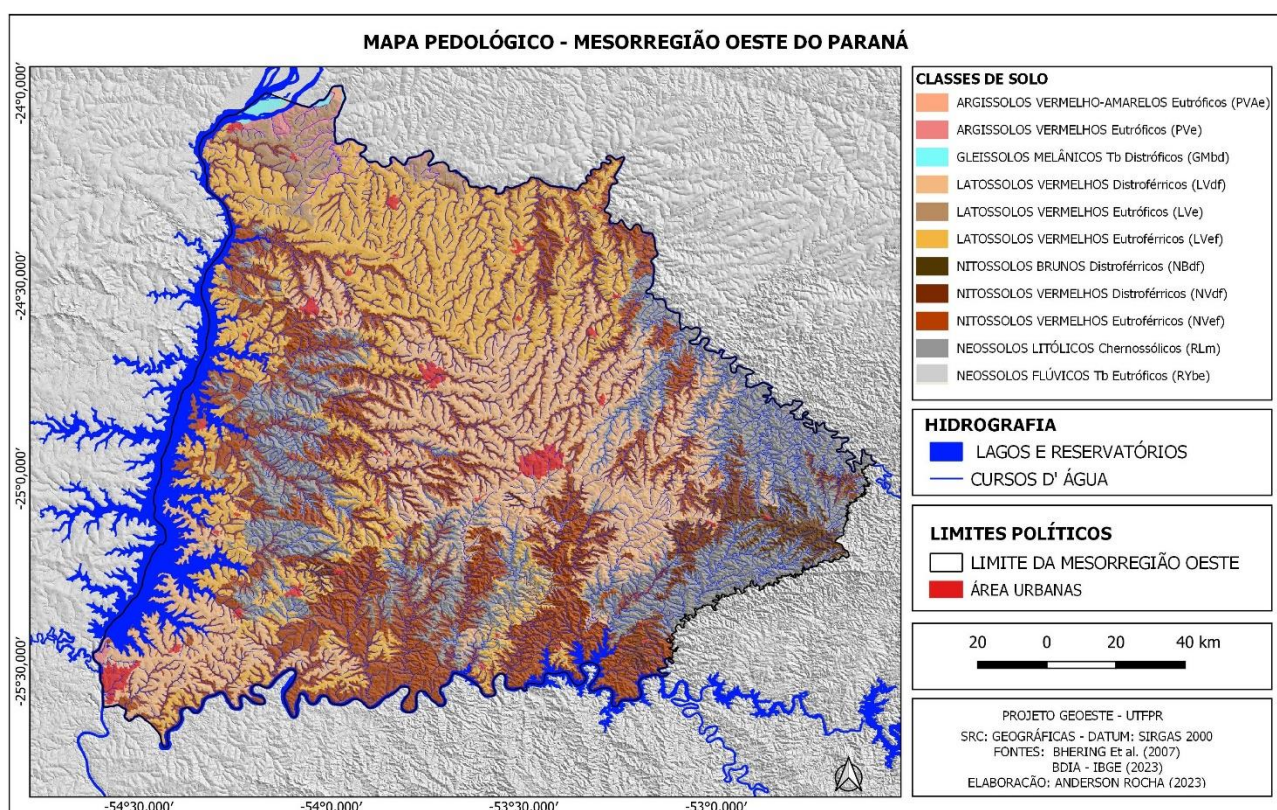


Figura 16. Mapa pedológico da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

Os Latossolos Vermelhos, compreende uma área de 9.037 km<sup>2</sup>, que representam cerca de 42% dos solos da região, ocorrem principalmente nos setores planos e suave ondulados do relevo, geralmente em declividades menores que 6%, onde predominam as colinas de morfologia convexas e convexas retilíneas. Em termos topográficos, geralmente ocupam os setores de topo e média de

vertente. A distribuição dessa classe na região concentra-se nos Planaltos de Cascavel ao longo dos principais divisores de água das bacias do Piquiri, Iguaçu e Paraná 3, além de uma extensa porção nas margens do lago de Itaipu no Planalto de Foz do Iguaçu. Os Latossolos Eutróficos e Distróficos, ocorrem principalmente nos setores de solo argiloso e muito argiloso, enquanto os

Latossolos Eutróficos, encontram-se associados aos setores de solos de textura média e argilo-arenosa.

Os Nitossolos Vermelhos abrangem uma área de 8.336 km<sup>2</sup>, que representa 38% dos solos do Oeste e se localizam particularmente nos setores baixa e média vertente ao longo das margens dos cursos hídricos. Os Nitossolos também são encontrados em relevos suaves ondulados, geralmente em declividades entre 6 e 12%, em vertentes convexas, retilíneas e convexo-côncavas. Já os Nitossolos Brunos possuem ocorrência localizada nas altitudes superiores a 800 m, sobretudo no Planalto do Alto-Médio Piquiri, onde ocupam os setores de alta vertente. No Oeste a classe dos Nitossolos (Vermelhos e Brunos), apresentam-se como Eutroféricos e Distroféricos, sendo que os de caráter Eutroféricos os predominantes. Essa classe de solo, geralmente apresenta textura argilosa e muito argilosa.

Os Neossolos, ocorrem principalmente nos Planaltos do São Francisco e do Alto-Médio Piquiri. Os Neossolos presentes no Oeste abrangem uma área de 3.999 km<sup>2</sup> que compreende cerca de 18% da região Oeste. Em geral, os solos rasos de caráter Litólico e Regolíticos ocorrem especificamente em relevos de alta dissecação, com maior frequência nas declividades entre 20 e 45%.

Em menor proporção, verificam-se ainda no setor norte da região os Argissolos (Vermelhos e Vermelho-Amarelo). Essa classe compreende 217 km<sup>2</sup>, cerca de 1% do total regional. Os Argissolos apresentam textura média ou argilo-arenosa, concentram-se especificamente no setor de contato do basalto e arenito. O mapeamento pedológico demonstra que à medida que se aproxima dos setores sedimentares do grupo Caiuá, aumenta a presença dos Argissolos na média e baixa vertente.

Os solos hidromórficos, classificados como Gleissolos, também aparecem com menor destaque territorial, com área próxima a 52 km<sup>2</sup>, abrangendo menos de 1% da área territorial, na escala de análise do mapeamento. Os Gleissolos encontrados na região podem ser Melânicos e Háplicos. Os Melânicos concentram-se principalmente na planície fluvial do Rio Paraná, intercalados aos Neossolos Flúvicos. Enquanto os Neossolos háplicos ocorrem ao longo das principais cabeceiras de drenagem e em ambientes de zonas ripárias, onde se verificam fundos de vale planos ou côncavos.

Pesquisas de caráter morfopedológicos regionais, identificaram diferentes sistemas pedológicos ao longo dos principais planaltos da região. Segundo Rocha (2018), os planaltos de Foz do Cascavel, do São Francisco e de Foz do Iguaçu concentram sistemas pedológicos compostos por Latossolo-Nitossolo, Latossolo-Neossolo-Nitossolo, Nitossolo-Neossolo e Latossolo-Nitossolo-Gleissolo.

Entre os principais sistemas pedológicos o de maior destaque são os Latossolo-Nitossolo. Essa organização morfopedológica apresenta horizontes B latossólicos no setor superior e médio da vertente e na sequência os horizontes B níticos na média-baixa vertente. De acordo com Magalhães et al. (2012) e Silva et al. (2020), esses sistemas estão em processo de transformação pedológica e pedogênese regressiva. Para os autores ao longo das vertentes, a transformação pedológica prossegue, remontantemente, ao mesmo tempo, em que ocorre o rebaixamento das coberturas pedológicas e dos mantos de alteração, pois a inclinação dos segmentos de vertente se acentua, modificando a dinâmica geomórfica na vertente e levando à substituição dos Latossolos pelos Nitossolos.

Já nos Planaltos de Baixo Iguaçu e Alto-Médio Piquiri os sistemas pedológicos predominantes são caracterizados como Nitossolo-Neossolo. Nesses planaltos ocorrem os Nitossolos nos setores de menor inclinação e os Neossolos nos setores mais inclinados ou nas rupturas de declive (Veloso et al., 2023). Já no Planaltos de Umuarama e Campo Mourão verificam-se sistemas pedológicos formados por Latossolo-Argissolo com presença do horizonte Bt na média baixa vertente nos setores mais arenosos ou sistemas Latossolo-Nitossolo com a presença do horizonte B nítico na baixa vertente nos setores argilosos (Sanches, 2018, Rocha, et al., 2018).

As interações pedológicas e geomorfológicas condicionam diferentes formas de ocupação, uso e manejo do solo na região. Nos setores mais aplainados do relevo, com presença dos Latossolos e Nitossolos, ocorrem usos voltados a agricultura temporária, enquanto nos setores de maior dissecação com a presença dos Neossolos Litólicos e Regolíticos verificam-se principalmente a uso pecuário, com maior presença da pastagem e eventualmente da silvicultura. Nesse contexto também se observa maior presença de áreas de vegetação em solos rasos e hidromórficos e/ou setores de maior fragilidade ambiental.



### Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Mesorregião Oeste do Paraná

O mapeamento de uso e cobertura da terra do Oeste (Figura 17 e 18), permitiu verificar a predominância de usos agrícolas e pecuários, bem como uma importante área de vegetação no contexto regional.

A classe de maior extensão é a agricultura com aproximadamente 11.705 km<sup>2</sup> (51,24%), essa grande extensão mostra que a mesorregião oeste é muito expressiva a em relação à produção de grãos. Em geral, os cultivos agrícolas são de soja, milho, trigo e aveia e apresentam sistema de manejo de plantio direto. A distribuição das áreas agrícolas encontra-se especialmente associada aos setores de relevo com baixa dissecação, sobretudo aqueles localizados em declividades inferiores a 10%, bem como em solos mais profundos, com destaque regional para os Latossolos e Nitossolos.

A grande extensão da atividade agrícola pode ser explicada por um conjunto de fatores que propiciam a produção agrícola. Os solos Latossolo e Nitossolo possuem alta aptidão agrícola, devido às características destes tipos de solo. Aliado a isso,

o clima da região se mostra altamente favorável à atividade agrícola, com temperatura adequada e precipitação bem distribuída o ano todo, sendo favoráveis às principais culturas agrícolas do estado.

A atividade pecuária, representada principalmente pelo uso da pastagem tem uma extensão de aproximadamente 3.852 km<sup>2</sup> (16,86% da área total regional). A pastagem ocorre principalmente em regiões com terreno mais acidentado, em particular aqueles com declividades entre 10 e 20%, essas pastagens são utilizadas em sua maioria para produção pecuária, em que são implantados criadouros de suínos e aves, ou manejo de gado (corte e leiteiro) de forma extensiva ou confinada. Em termos de localização, as pastagens ocupam basicamente o setor onde se localizam os planaltos São Francisco e Baixo Iguaçu e Alto-Médio Piquiri, onde predominam solos rasos como os Neossolos Litólicos e Regolíticos. No norte da região, também se verifica uma estreita faixa composta pela pastagem associada às áreas recobertas com solos de textura média, oriundos do arenito da Formação Caiuá.

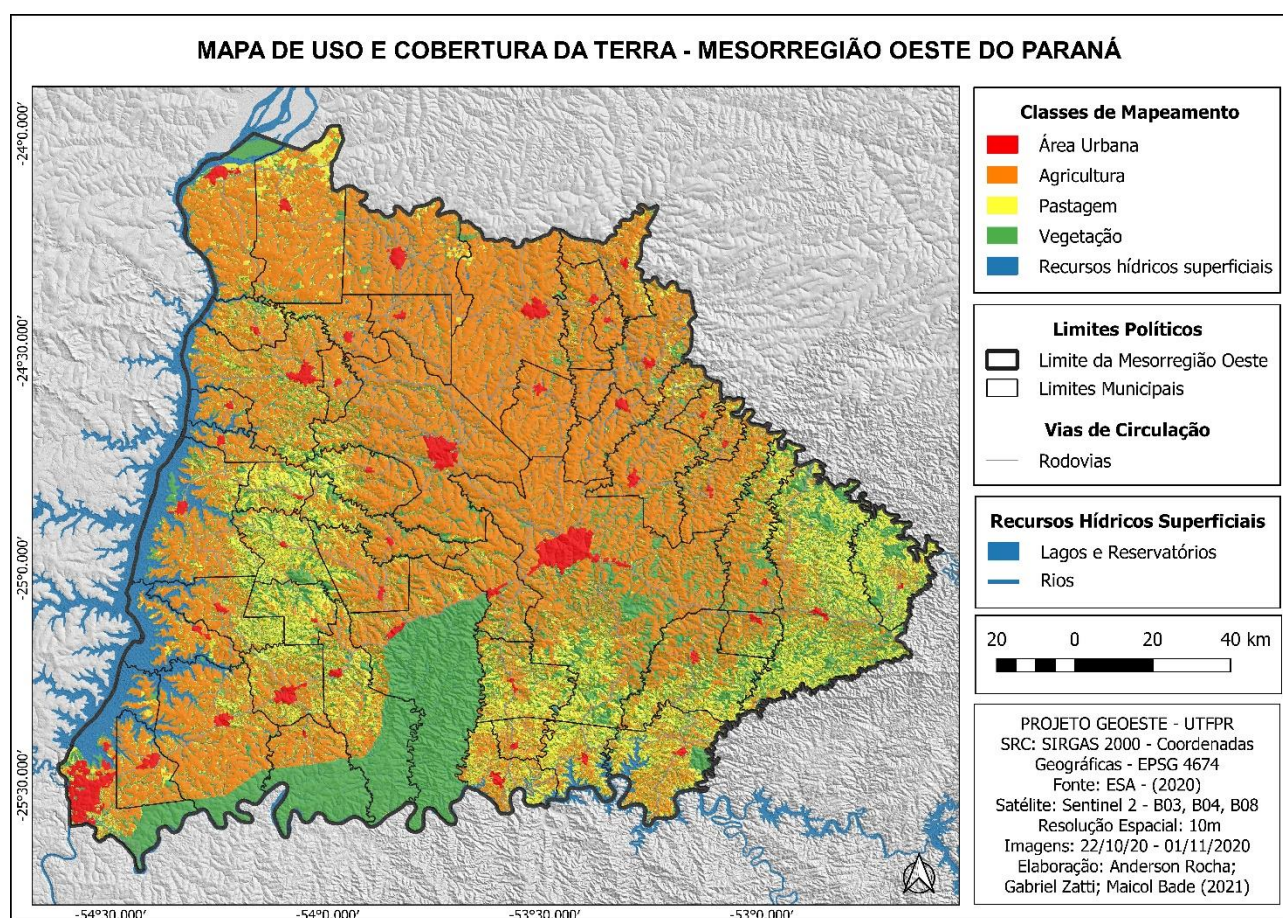


Figura 17. Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.



Os recursos hídricos superficiais que envolvem os lagos, reservatórios e rios, representam uma área com extensão total de 810 km<sup>2</sup>, representando um percentual de 3,55% da área total (Figura 18). A relevante área, composta por corpos hídricos, reflete a grande magnitude da área alagada, com destaque para o reservatório da Itaipu Binacional que ocupa 770 km<sup>2</sup> na margem esquerda (brasileira) e 580 km<sup>2</sup> na margem direita (paraguaia) - (ITAIPU, 2023). A expressiva área de corpus hídrico também vem aumentando nos últimos anos em função da ampliação dos lagos artificiais associados ao avanço da piscicultura na região.

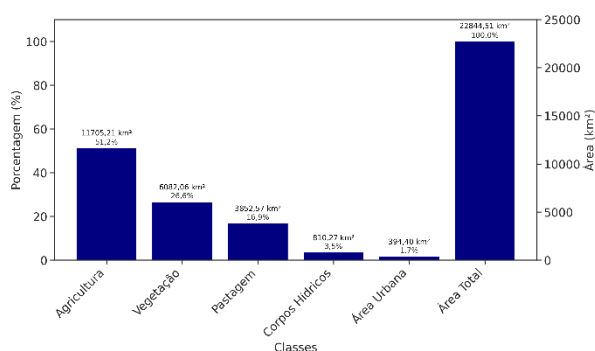


Figura 18. Relação de área e porcentagem de uso e cobertura da terra no Mesorregião Oeste do Estado do Paraná.

As áreas urbanizadas compreendem 394 km<sup>2</sup>, correspondendo a 1,73% da região Oeste. As principais sedes municipais localizam-se em sua maioria nas regiões limítrofes aos divisores de água da bacia e encontram-se dispostas, principalmente, nos setores de topo, onde normalmente se verificam as áreas mais aplainadas do relevo.

Os remanescentes florestais na região distribuem-se principalmente às margens dos principais cursos hídricos, assim como em setores onde há maiores limitações físico-naturais (altas declividades e solos de baixa fertilidade natural) que impedem o desenvolvimento de atividades antrópicas. Atualmente a vegetação ocupa uma área de 6.082 km<sup>2</sup> (26,62%), compondo principalmente áreas de reserva legal e de preservação permanente, localizadas em sua grande parte nas margens dos rios das bacias hidrográficas do Paraná 3, Piquiri e do Iguaçu, e ainda ao longo do reservatório de Itaipu, com grande participação da extensão do Parque Nacional do Iguaçu. Embora a vegetação natural tenha sido devastada no processo de ocupação, verifica-se uma área representativa de mata (natural e reflorestada) em termos regionais,

ocupando cerca de um quarto do território da área de abrangência do Oeste Paranaense.

A distribuição do uso e cobertura da terra é influenciada por uma variedade de fatores, incluindo características físico-naturais, atividades humanas, políticas de uso da terra e mudanças ambientais. Estas interações apresentam correlações importantes com o uso da terra no contexto regional, moldando as características ambientais e determinando as oportunidades e limitações para diferentes tipos de atividades humanas e ecossistemas naturais (Siqueira et al., 2022).

Os aspectos geomorfológicos e pedológicos exibem distintos potenciais ecológicos, que interferem diretamente na prática de uso antrópico. A declividade e a distribuição espacial das classes de solos condicionam a ocupação das áreas de domínio agrícola, pecuário e das áreas de preservação natural (Camargo et al., 2022). Neste trabalho, os ambientes com declividades menores que 10% e sistemas pedológicos formados por Latossolos e Nitossolos são particularmente ocupados pelas culturas temporárias de soja, milho e trigo. Sendo que nos setores com declividade entre 10% e 20%, com a presença dos Neossolos Litólicos e Regolíticos ocorre principalmente o uso da pastagem. Os setores com declividade entre 20 e 45%, são na maioria ocupados por áreas de proteção ambiental, em especial as reservas legais.

Nesse contexto, a possibilidade de comparação das interações físico-naturais e antrópicas e apresentação dos mapeamentos temáticos, poderão ainda subsidiar o planejamento ambiental, planejamento agropecuário, adequação de práticas de manejo e conservação do solo e da água, bem como projetos de desenvolvimento regional.

No âmbito do planejamento ambiental, os mapeamentos pedológicos e geomorfológicos permitem identificar de forma espacial e quantitativa os setores com solos frágeis (Siqueira et al., 2022; Veloso et al., 2023). Neste caso, foram observados os Gleissolos e Neossolos. O mapeamento também permitiu observar os setores com restrição de uso antrópico em função da declividade (áreas com declividade superior a 45% de inclinação). Essas áreas segundo o Código Florestal (BRASIL, 2012) são áreas recomendadas para manutenção e implantação de áreas de preservação. Os setores onde ocorrem alta declividade e solos de baixa profundidade, assim como os setores onde ocorrem solos com alto teor

de areia, constituem ambientes fundamentais para ampliação de práticas de manejo conservacionistas, visando sobretudo redução da erosão laminar ou linear e conservação do solo e da água.

No contexto agropecuário, os dados dos elementos meteorológicos, como precipitação, temperatura, umidade do ar e evapotranspiração, auxiliam na compreensão de variabilidades climáticas e eventos extremos como períodos de secas ou excedentes hídricos, permitindo melhor planejamento do setor. A distribuição hídrica influencia diretamente no planejamento das atividades agropecuárias, refletindo na distribuição da produtividade dos cultivos agrícolas (Camargo et al., 2022). De forma geral, os meses menos chuvosos foram julho e agosto. O mês com maior precipitação acumulada foi outubro. As menores temperaturas ocorrem nos meses de maio, junho e julho. As maiores ocorrem em janeiro e dezembro.

O conjunto de dados dos recursos hídricos, também permite observar em quais municípios da região ocorrem maior demanda de uso da água superficial e subterrânea, permitindo a análise dos setores com potencial de utilização e ou regulação do uso dos recursos hídricos para fins industriais, agrícolas, pecuários ou urbanos.

### Considerações Finais

A caracterização geoambiental apresentada permitiu a visualização de interações dos elementos físico-naturais com a distribuição do uso e cobertura da terra.

A região em questão foi caracterizada por estruturas basálticas predominantes, abrigando o aquífero fraturado Serra Geral, amplamente utilizado por 6.741 poços artesianos. As águas subterrâneas são essenciais para abastecimento urbano e rural, com poços profundos sendo os mais explorados. As maiores retiradas ocorrem geralmente em poços com profundidades superiores a 100 m. Além disso, a região possui recursos hídricos superficiais significativos, brigando integralmente a unidade hidrográfica do Paraná 3 e partes das bacias dos rios Iguaçu e Piquiri, aproveitados por hidrelétricas e para abastecimento municipal.

O mapeamento também permitiu observar que a topografia influencia diretamente o clima na região, com áreas mais baixas tendo menor precipitação e temperaturas mais altas, enquanto as áreas mais elevadas recebem mais chuva e têm temperaturas mais baixas. As análises também evidenciaram maiores valores de evapotranspiração nos setores de baixa altitude e

no entorno do lago de Itaipu, indicando ainda a possibilidade de déficit hídrico em relação às médias anuais nesses locais. Essas diferenças climáticas afetam a distribuição da vegetação, com Floresta Estacional Semidecíduais em altitudes mais baixas, em altitudes inferiores a 600 m e Florestas Ombrófilas Mistas em altitudes mais elevadas, entre 700 e 900 m.

O mapeamento dos elementos físico-naturais foi crucial para compreender as condições geoambientais e o uso dos recursos naturais no contexto regional. Este conhecimento está sendo aplicado para o desenvolvimento do Portal de Dados Ambientais e Agropecuários do Oeste do Paraná - Portal Geoeste ([portalgeoeste.com.br](http://portalgeoeste.com.br)), que visa fornecer informações georreferenciadas da região, subsidiando a criação de políticas públicas voltadas à gestão sócio-ambiental regional.

### Referências

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome. <https://doi.org/10.14393/rbcv62n1-43668>
- Almorox, J., Quej, V.H., Martí, P., 2015. Global performance ranking of temperature-based approaches for evapotranspiration estimation considering Köppen climate classes. *Journal of Hydrology* 528, 514–522. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.057>
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos Recursos Hídricos, 2021. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos, 2023. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/>>.
- Anjos, A.O., Carvalho, M.E.S., 2020. Zoneamento geoambiental do município de Barrocas/BA: contribuições para o ordenamento territorial. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 1700-1719. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1700-1719>
- Aparecido, L.E. de O., Rolim, G. de S., Richetti, J., de Souza, P.S., Johann, J.A., 2016. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. *Ciencia e Agrotecnologia* 40,

- 405–417. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016404003916>
- Araújo, C.S.P., Silva, I.A.C. e., Ippolito, M., de Almeida, C.D.G.C., 2022. Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using surface data in Pernambuco, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 194. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10047-2>
- Athayde, G.B., Athayde, C.V.M., 2015. Hidrogeologia do Sistema Aquífero Serra Geral no estado do Paraná. *Águas Subterrâneas*, 29, 315-333. <https://doi.org/10.14295/ras.v29i3.28406>
- Bhering, S.B., Santos, H.G., Manzatto, C.V., Bognola, I., Fasolo, P.J.; Carvalho, A.P., Potter, O., Aglio, M.L.D., Silva, J.S., Chaffin, C.E., Carvalho Junior, W., 2007. Mapa de solos do Estado do Paraná: escala 1:250.000. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- Camargo, F.A.D.O., Battisti, R., Knapp, F.M., Dalchiavon, F.C., 2022. Maize yield gain using irrigation in the state of Rio Grande do Sul , Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 26, 688–694.
- Cangiano, M.R., Baptista, G.M.M., Prado, L.F., Costa, R.L., 2023. Análise da Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Alto Descoberto (DF) à Seca, no período de 2001 a 2019. *Revista Brasileira de Climatologia* 32, 102–128. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.15757>
- Castro, F. da S., Pezzopane, J.E.M., Cecílio, R.A., Pezzopane, J.R.M., Xavier, A.C., 2010. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 871–880. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662010000800012>
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Repositório Institucional de Geociências. Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Paraná, 2021. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22492>>.
- DER - Departamento de Estradas de Rodagem, 2021. Portal GEO do DER/PR, Mapas Rodoviários, Curitiba - PR. Disponível em: <<https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Mapas-Rodoviaros>>.
- DERAL - Departamento de Economia Rural do Paraná. Paraná. 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Departamento-de-Economia-Rural-Deral>.
- Dias, R.L., Oliveira, R.C., 2013. Zoneamento Geoambiental do litoral sul do estado de São Paulo. *Geografia* 38, 371-383.
- Dutra, D.S., Robaiana, L.E.S., 2022. Zoneamento Geoambiental de Canguçu/RS. *Geoambiente On-line* 43, 19-41.
- ESA - European Space Agency. Copernicus, 2020. Disponível em: <[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus)>.
- Fernandez, O.V.Q., Rocha, A.S., 2016. Análise Preliminar da Aplicação da Integral Hipsométrica à Caracterização das Unidades de Paisagem na Bacia do Paraná III, Oeste do Paraná. In: *Anais VIII SIMPGEO*. Marechal Cândido Rondon, p. 497–506.
- Finck, L.F., Leite, I.R., Almeida, A.K., de Almeida, I.K., 2024. A streamflow regionalization method using hydrological data and geoprocessing tools - a Brazilian midwest analysis. *Journal of South American Earth Sciences* 133, 104695. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104695>
- Girão, R. e S., Vicens, R.S., De Almeida, J.C.H., Fernandes, P.J.F., 2022. Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 153–174. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p155-175>
- Hornes, K.L., Rodrigues, E.D.A., 2018. Fitogeografia da Bacia Hidrográfica do Paraná 3. In: Rocha A.S., Bade M.R., *Geografia da bacia hidrográfica do Paraná 3: fragilidades e potencialidades socioambientais*, 1ª ed. Jundiaí, SP, Ed. In House, 2018.
- IAT - Instituto Água e Terra. Governo do Paraná. Geodados. Mapas e Dados Espaciais, 2022. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>>.
- IAT - Instituto Água e Terra. Governo do Paraná. Geodados. Mapas e Dados Espaciais, 2023. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados e Informações Ambientais. Pedologia, 2021. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022. Panorama. População e Território, 2022 Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>.



- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais, 2012. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA, 2023. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>.
- IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Dados Regionais, Leituras Regionais, 2003. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/>>.
- ITAIPU - Base de Dados. Sistema de Informações Geográficas, 2023. Foz do Iguaçu.
- Kawano, T., Silveira, H., Serra, E., Graça, C. H. da., 2020. Pluriatividade na agricultura familiar no compartimento arenítico da bacia hidrográfica do rio Pirapó - Paraná/Brasil. *Campo-Território*, 15, 269-298. <https://doi.org/10.14393/RCT153712>
- Lima, I.T.C., 2005. Itaipu: as faces de um mega projeto de desenvolvimento. Ed. Germânica, Niterói.
- Maack, R. Divisas Municipais, ITCG, 2007. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>>.
- Magalhães, V.L., Nóbrega M.T., Cunha, J.E., 2012. Transformações pedológicas no platô de Marechal Cândido Rondon (PR). *Revista Ambiente*, 8, 633-649.
- Matsunaga, W.K., Sales, E.S.G., Júnior, G.C.A., Silva, M.T., Lacerda, F.F., de Paiva Lima, E., dos Santos, C.A.C., de Brito, J.I.B., 2024. Application of ERA5-Land reanalysis data in zoning of climate risk for corn in the state of Bahia—Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 155, 945–963. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04670-3>
- Medeiros, J.F., Cestaro, L.A., 2020. Using statistical techniques to conduct the geoenvironmental compartmentalization of Serra de Martins-RN, Brazil. *Sociedade e Natureza*, 32, 404-415. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-46691>
- MINEROPAR. Atlas geomorfológico do Estado do Paraná Escala 1:250.000 modelos reduzidos, 2006. Minerais do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 63 p.
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D.G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N.J., Zsoter, E., Buontempo, C., Thépaut, J.N., 2021. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data* 13, 4349–4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- Neto, M., Silva, J.B., 2022. Análise geoambiental do Baixo Mamanguape - Paraíba, Brasil. *GeoTextos* 18, 193–220. <https://doi.org/10.9771/geo.v18i1.48142>
- Nitsche, P.R., Caramori, P.H., Ricce, W.S., Pinto, L.F.D., 2019. Atlas climático do estado do Paraná. IAPAR, Londrina.
- Oliveira, F.C.D., Giovanella, T.H., Sandro, A., Amadeu, V., Pereira, S., 2021. Evapotranspiration in the Brazilian municipalities surrounding the Itaipu Binacional reservoir: characterization process and estimation methods. *Revista DYNA* 88, 139–146. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n219.97015>
- Pereira, P.B., Nunes, H.K.B., Souza, A.S., 2022. Caracterização Geoambiental do Município de Caxias, Maranhão/Brasil. *Revista Geografia em Atos* (Online) 6, 1–19. <https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.555>
- Plassin, S., Koch, J., Paladino, S., Friedman, J.R., Spencer K., Vaché K. B., 2020 A socio-environmental geodatabase for integrative research in the transboundary Rio Grande, 7. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0410-1>
- Rademann, L.K., Trentin, R., Robaina, L.E.S., 2018. Zoneamento Geoambiental do município de Cacequi, Rio Grande do Sul. *Geosul, Florianópolis*, 33, 85-104. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n66p85>
- Ribeiro, K.V., Ribeiro, K.V., Albuquerque, E.L.S., Barros, R.F.M., 2022. Geoenvironmental characterization of a hydrographic basin in the Médio Parnaíba piauiense. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15, 1319-1335.
- Rocha A.S., Bade M.R., 2018. Geografia da bacia hidrográfica do Paraná 3: fragilidades e potencialidades socioambientais, 1ª ed. Jundiaí-SP, Ed. In House, 312 p.
- Rocha, A.S., Nóbrega, M.T., Cunha, J.E., 2018. As unidades de paisagem, as vertentes características e os sistemas pedológicos na bacia hidrográfica do Paraná 3. *Revista Ateliê Geográfico*, 12, 51-70. <http://doi.org/10.5216/ag.v12i1.44176>

- Roderjan, C.V., Galvão, F., Kuniyoshi, S.Y., Hatschbach, G.G., 2002. As Unidades Fitogeográficas do Estado do Paraná. Curitiba. Revista Ciências e Ambiente, 24, 75-93.
- Rolim, G.S., Camargo, M.B.P., Lania, D.G., Moraes, J.F.L., 2007. Classificação Climática De Köppen E De Thornthwaite E Sua Aplicabilidade Na Determinação De Zonas Agroclimáticas Para O Estado De São Paulo. Bragantia 66, 711-720. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>
- Sanches, R.M., 2018. Sistemas de transformação e suas relações com a erosão hídrica em solos de textura média em Terra Roxa-PR (Disertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- Santos, L.J.C., Fiori C.O., Canali, N.E., Fiori, A.P., Silveira, C.T., Silva, J.M.F., Ross, J.L.S., 2006. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Geomorfologia 7, 3-11. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v7i2.74>
- Santos, L.J.C., Oka-Fiori, C., Canalli, N.E., Fiori, A.P., Silveira, C.T., Silva, J.M.F., 2007. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. Revista Brasileira de Geociências 37, 812-820.
- Sartorio, L.F., Maier, É.L.B., 2022. Identificação das Mudanças Espaço-temporais nos Biomas Brasileiros por Intermédio da Análise de Componentes Principais (ACP). Revista Brasileira de Cartografia 74, 228-247. <https://doi.org/10.14393/rbcv74n2-63991>
- SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Serviço Geológico do Brasil, 2023. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/index.ph>
- Silva, W.T.C., Gonçalves, D.V., 2024. Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas: Análise Socioambiental para o Estado de Sergipe. Revista Brasileira de Geografia Física 17, 931-944.
- Silva, B.A., Hayakawa, E.H., Martins, V.M., 2020., Relação solo-relevo no Oeste do Paraná, estudo de caso: folha topográfica de Marechal Cândido Rondon, Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia 21, 45-62. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1538>
- Silveira, C.T., Silveira, R.M.P., Bortolini, W., de Almeida, V.P., 2023. Unidades de relevo do novo mapa geomorfológico do Paraná: avanço na escala e táxon. Geo UERJ 1-11. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.74576>
- Siqueira, Auberto José Barros, Xavier, F.V., Dias Figueredo, R.R., Figueiredo, D.M., Barbosa, G.N., 2022. Mapeamento Geoambiental detalhado com uso de SIG e dados livres como estratégia de baixo custo para planejamento territorial periurbano. Revista Brasileira de Geomorfologia 23, 1583-1609. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i3.1994>
- Siqueira, B.A.J., Xavier, F.V., Dias Figueredo, R.R., Figueiredo, D.M., Barbosa, G.N., 2022. Mapeamento Geoambiental detalhado com uso de SIG e dados livres como estratégia de baixo custo para planejamento territorial periurbano. Revista Brasileira de Geomorfologia 23, 1583-1609. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i3.1994>
- Veloso, L.E.R., da Rocha, A.S., Câmara, C.D., 2023. Mapeamento E Análise Da Fragilidade Ambiental Da Área Urbana Do Município De Matelândia - PR. Geografia em Questão 16, 113-133. <https://doi.org/10.48075/geog.v16i01.27586>
- Wang, Y.R., Hessen, D.O., Samset, B.H., Stordal, F., 2022. Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data. Remote Sensing of Environment 280. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181>
- Xavier, A.C., Cecílio, R.A., Lima, J.S. de S., 2011. Módulos Em Matlab Para Interpolação Espacial Pelo Método De Krigagem Ordinária E Do Inverso Da Distância. Revista Brasileira de Cartografia 62, 67-76. <https://doi.org/10.14393/rbcv62n1-43668>