

FUNCIONALIDADES DO GOOGLE EARTH ENGINE (GEE)

APLICADAS EM ESTUDOS GEOGRÁFICOS

INTRODUÇÃO

O advento do computador, o desenvolvimento da interface gráfica em monitores de alta resolução e o surgimento da internet são marcos fundamentais na história da tecnologia, contribuindo significativamente para a transformação da sociedade moderna. Aliado a isso, a tomada das imagens por satélites a partir do início da década de 1970, permitiu-se que os mapas saíssem do mundo analógico e passassem para o mundo digital, estando hoje popularizados e presentes nas telas dos computadores, dos receptores GPS, dos celulares, dos tablets (MARQUES; MONTANHER, 2023).

Conseqüentemente, as Geotecnologias têm avançado significativamente no campo da análise espacial de dados geográficos, modificando a maneira como coletar, processar e interpretar os fenômenos geoespaciais. Dessa forma, esses avanços apresentam uma série de benefícios e novas possibilidades que estão revolucionando campos do conhecimento como sensoriamento remoto, tecnologias de geoprocessamento em tempo real, integração de técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina com dados geoespaciais, manejo e a análise de grandes volumes de dados (Big Data), processamento na nuvem, entre outros.

O processamento na nuvem, por exemplo, tem promovido uma verdadeira transformação na maneira de como baixar e tratar dados e realizar análises geográficas, principalmente quando se trabalha com temas relacionados às geotecnologias. Com ele, não é mais necessário possuir um computador extremamente potente para realizar tarefas complexas de análise espacial e geográfica,

O tratamento e as análises dos dados são realizados em servidores remotos, utilizando a infraestrutura e os recursos de computação disponibilizados pela nuvem, reduzindo a necessidade de investimento em equipamentos com alto custo de aquisição. Porém, é importante frisar que se deve ter uma conexão de internet robusta para usufruir ao máximo o potencial que essa nova proposta de trabalho oferece, pois uma conexão lenta pode afetar a velocidade e a eficiência no tratamento dos dados, especialmente se estiver lidando com conjuntos de dados muito grandes.

Atualmente estão disponíveis várias plataformas na nuvem que oferecem ferramentas e serviços para trabalhar com dados geoespaciais: Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Esri ArcGIS Online, Carto, Google Earth Engine. Essas são apenas algumas das principais plataformas na nuvem para trabalhar com dados geoespaciais e cada uma delas tem suas próprias vantagens e recursos, sendo que a escolha de qual trabalhar dependerá das necessidades específicas de cada projeto a ser executado.

Conforme mencionado, uma das plataformas existentes atualmente é o Google Earth Engine (GEE), o qual constitui um ambiente que permite acesso a dados de imagens (que podem ser tratados em conjunto multiespectrais) e dados vetoriais georreferenciados permitindo aos usuários executar análises geoespaciais nos servidores da Google (GORELICK et al. 2017). A plataforma combina um catálogo de vários petabytes de imagens de satélite a partir de década de 1980 e conjuntos de dados geoespaciais com recursos de análise em escala planetária onde pesquisadores podem buscar os mais variados produtos para detectar mudanças, mapear tendências e quantificar diferenças na superfície da Terra (GEE, 2022).

O Code Editor é um IDE (Integrated Development Environment), uma plataforma que integra diversas ferramentas de desenvolvimento em uma interface única, facilitando a criação e execução de códigos. No contexto do Google Earth Engine, ele é uma das maneiras que permite interagir com a base de dados disponível na infraestrutura do Google por meio do desenvolvimento e execução de scripts, possibilitando análises avançadas de dados geoespaciais. Existem vários elementos presentes neste editor que auxiliam no processo de desenvolvimento, desde a escrita de código até a visualização de resultados. Para explorar todos esses recursos, basta acessar o endereço <https://earthengine.google.com/platform/>.

O objetivo do presente trabalho é apresentar e explorar algumas das principais funcionalidades proporcionadas pelo Google Earth Engine (GEE) na área de geotecnologia e sua relevância para a pesquisa ambiental, uma vez que a acessibilidade e a facilidade de uso dessa plataforma promovem sua adoção por pesquisadores, profissionais e tomadores de decisão.

Para tanto serão utilizadas imagens do satélite Sentinel 2A para determinar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para monitorar o comportamento da vegetação, do programa Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) para gerar Modelo Digital de Elevação (MDE) e dados do Climate Hazards group Infrared

Precipitation with Stations (CHIRPS) para representar o comportamento de distribuição das chuvas, que são algumas das várias possibilidades existentes na plataforma do GEE e que são muito úteis nos mais variados campos de pesquisas de caráter geográfico.

O satélite Sentinel 2A apresenta o Instrumento Multiespectral, ou MSI, que possui 13 bandas espectrais, cobrindo as faixas espectrais do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. Em termos de resolução espacial, o MSI possui quatro bandas com 10 m, seis com 20 m e três com resolução de 60 m. As bandas espectrais utilizadas neste trabalho correspondem às regiões do vermelho (banda 4) e do infravermelho próximo (banda 8), ambas com 10 m de resolução espacial. A resolução radiométrica do MSI é de 12 bits (quantização em 4096 níveis de brilho) e a resolução temporal é de cinco dias, considerando a frequência de revisita a partir da constelação dos dois satélites (ESA, 2022).

As análises feitas com imagens de satélite são extremamente valiosas nos estudos geográficos. Algumas das principais aplicações existentes incluem análise de mudanças de uso e cobertura do solo, monitoramento de desastres naturais, gestão de recursos hídricos, planejamento urbano. Outra aplicação muito importante é questão do monitoramento da vegetação: O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), por exemplo, proposto por Tucker (1979), é uma ferramenta comum para avaliar a saúde da vegetação, usando a reflectância em bandas do infravermelho próximo e do vermelho para identificar áreas verdes e seu estado. Este índice é muito usado porque fornece uma medida rápida da vegetação, variando de -1 a 1, onde valores próximos a 1 indicam vegetação densa e saudável, enquanto valores próximos a 0 sugerem áreas sem vegetação.

A Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) produziu o modelo digital de elevação mais completo e de mais alta resolução da Terra. O projeto foi um esforço conjunto da NASA, da Agência Nacional de Inteligência Geoespacial e das Agências Espaciais Alemã e Italiana e voou em fevereiro de 2000 (FARR et al., 2007)

Os dados de precipitação infravermelha com estação do Climate Hazards Group (CHIRPS) são um conjunto de dados de precipitação quase global com mais de 35 anos em operação. Sua abrangência varia entre os paralelos 50°S e 50°N e abarcando todas as longitudes nesse intervalo. Ele está em atividade desde 1981 até o presente, incorporando dados sobre a climatologia interna do planeta Terra (CHPclim), imagens de satélite com resolução de 0,05° (aproximadamente 2.200m) e dados de estação in-situ para criar séries

temporais de precipitação em grade para análise de tendências e monitoramento de secas sazonais (CHC, 2024).

MATERIAIS E MÉTODOS

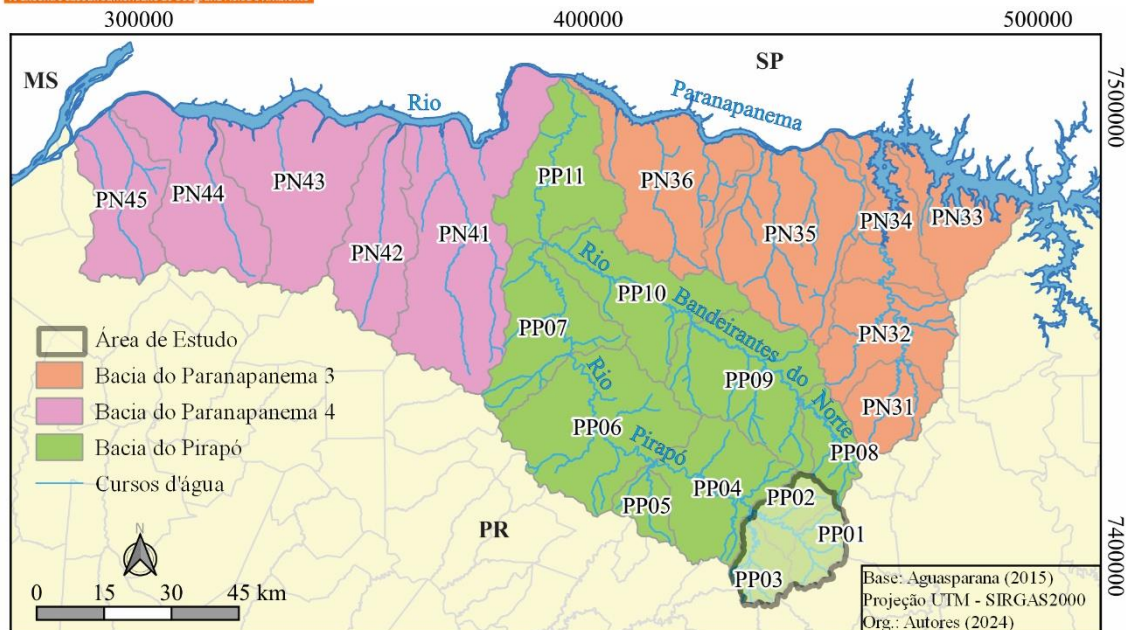
Área de Estudo

Como área piloto para a apresentação de algumas funcionalidades da plataforma GEE, foram escolhidas três Áreas Estratégicas de Gestão (AEGs), AEG PP01, AEG PP02 e AEG PP03 (Figura 1), que fazem parte do relatório do Plano das Bacias do Pirapó, Paranapanema 3 e 4 estabelecido pelo Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANA, 2015). As AEGs são um dos recortes espaciais adotados no referido relatório e tem como objetivo básico apresentar as disponibilidades, as demandas de recursos hídricos e o balanço quanti-qualitativo entre disponibilidades e demandas desses recursos.

Ao todo são 22 AEGs que estão inseridas nas Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) da Bacia do Pirapó, formada pelo conjunto das bacias hidrográficas do Pirapó, Paranapanema 3 e Paranapanema 4. A bacia do Pirapó conta com 11 AEGs, nominadas pelo prefixo PP seguido do numeral de 01 a 11. A escolha das 3 primeiras AEGs se deu devido as mesmas abarcarem as principais nascentes do rio Pirapó em seu alto curso.

A bacia do rio Pirapó situa-se no Terceiro Planalto Paranaense, nas mesorregiões geográficas Norte Central e Noroeste paranaense (latitudes 22°32'30"S e 23°36'18"S, e longitudes 51°22'42"W e 52°12'30"W). Do ponto de vista climático, essa bacia apresenta clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sem estação seca definida e geadas pouco frequentes (MAACK, 2002).

Figura 1: Localização da área de estudo.



O rio Pirapó, que é afluente do rio Paranapanema, tem sua nascente em Apucarana, a cerca de 800 m de altitude, e percorre cerca de 260 km (RIGON; PASSOS, 2014), até a foz, no rio Paranapanema, em Jardim Olinda, a uma altitude de 250 metros. Circunscrita à área da bacia se encontram, total ou parcialmente, 35 municípios. A área do presente trabalho, a alta bacia do rio Pirapó, abarca total ou parcialmente, seis municípios (Apucarana, Arapongas, Sabáudia, Mandaguari, Jandaia do Sul e Cambira).

O Terceiro Planalto representa, conforme Maack (2002), um plano de declive – a encosta da escarpa mesozóica da Serra Geral do Paraná ou Serra da Boa Esperança. Esta escarpa é constituída por arenitos da Formação Botucatu associados aos derrames de lavas predominantemente básicas. A bacia do rio Pirapó, se situa no bloco planáltico de Apucarana (RIGON, 2005, apud RIGON; PASSOS, 2014). O substrato geológico da bacia é constituído por basalto parcialmente recoberto por arenitos das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina.

Na área da alta bacia, a principal unidade litológica corresponde aos derrames sucessivos e sub-horizontais, pouco espessos (com espessuras dominantes de 6 a 10 m), da Formação Serra Geral. Ocorrem subordinadamente, arenitos finos e médios, siltitos e brechas intertrapianas, e mais raramente, pequenos “diques” siltico-arenosos intertrapianos. (MARTINEZ, 2005 apud RIGON; PASSOS, 2014).

De acordo com Bonifácio et. al. (2013), no trecho do alto vale do Pirapó, há diferenças nas margens direita e esquerda. As bacias da margem direita exibem no topo dos divisores, resquícios dos arenitos da Formação Santo Anastácio, da Formação Caiuá

e pequenas e esparsas ocorrências da Formação Adamantina. As formas dominantes das bacias são em leque. Na margem esquerda verificam-se apenas os basaltos da Formação Serra Geral, em bacias geralmente ovaladas, tendo os rios, traçado mais sinuosos, reflexo do sistema de fraturamento e dos lineamentos estruturais da rocha.

As bacias do ribeirão do Sória e Alegre, representam respectivamente, bacias características das margens, direita e esquerda, estudadas por Bonifácio et. al. (2013), no alto curso do rio Pirapó. Em ambos os casos, o índice de circularidade com valores similares (0,53 e 0,54) indicam que, dependendo do solo e de seu uso e ocupação, são maiores os riscos para inundação. O ribeirão Alegre (margem esquerda) tem um traçado sinuoso (1,49), enquanto que o Sória (margem direita), tem um traçado regular (1,02). As bacias hidrográficas dos tributários da margem esquerda são mais dissecadas, apresentando pequenos esporões, relativamente estreitos, que são modelados pelos afluentes de primeira e segunda ordem. O relevo da margem direita é menos dissecado; apenas no baixo curso dos tributários, onde os vales são mais estreitos, têm entalhe mais pronunciado. Prevaecem áreas de declividades muito fracas ($< 12\%$), a moderadas (20-30%), dominando topos mais arredondados, convexos, e vertentes com rupturas de declividades evidentes.

Produtos Cartográficos

O presente trabalho privilegiou a utilização das imagens do satélite sentinel 2A, nos períodos de 13-05-2016 a 08-05-2017 e de 06-06-2023 a 31-05-2024, bandas 4 e 8, para o cálculo do NDVI e posterior extração das matas, dos dados de elevação do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) para a elaboração da carta hipsométrica e perfil topográfico na área de estudo, e das imagens de precipitação infravermelha do CHIRPS para representar a distribuição das chuvas no período de 13-05-2016 a 12-05-2017 e de 13-05-2023 a 12-05-2024

Para o cálculo do NDVI foi utilizada a metodologia proposta por Marques; Montanher (2023) que pautaram na utilização de imagens-estatísticas de média ao invés de imagens individuais do Sentinel 2A, pois nessas há a possibilidade confusão na extração das áreas de matas com as extensas áreas cultivadas em uma imagem obtida em momentos de pico de desenvolvimento agrícola, uma vez que na área de estudo existe vastas áreas de plantio de soja e milho.

Nos dois períodos de análise foram utilizadas todas as imagens livres de cobertura de nuvens para a área de estudo, o que totalizou para o primeiro período (maio de 2016 a

maio de 2017) 10 imagens e para o segundo período (06-06-2023 a 31-05-2024) 12 imagens, selecionando somente as bandas 4 e 8 para cada uma das 22 imagens trabalhadas.

Para a elaboração da carta hipsométrica, foi realizada uma redução da área de estudo utilizando a funcionalidade `reduceRegion`. Em seguida, aplicou-se a função `ee.reduce.minMax()` para obter os valores mínimos e máximos de altitude, permitindo calcular a amplitude altimétrica da região. Com esses dados, foi implementado um degradê utilizando os parâmetros de visualização (`visPar`), que possibilitou a representação gráfica das variações altimétricas de maneira clara e informativa. Essa abordagem facilitou a interpretação das características topográficas da área analisada.

A construção do perfil topográfico foi realizada utilizando a funcionalidade `ui.Chart.array.values()`, que permite a extração de dados ao longo de um transecto específico. Essa abordagem se baseia na intersecção de pontos ao longo do transecto selecionado com os valores de cotas presentes na imagem SRTM. Dessa forma, foi possível representar graficamente as variações de altitude ao longo do percurso, facilitando a análise topográfica do trecho em questão.

Funcionalidades Aplicadas na Plataforma GEE

Para a elaboração dos mapas temáticos foi necessário a delimitação da área de estudo. Para tanto foi utilizado como ‘máscara’ para o recorte da área de interesse um arquivo no formato shapefile com a geometria que limite as três AEGs definidas no presente trabalho. Os três mapas temáticos confeccionados foram oriundos de produtos raster: mapas de vegetação, de pluviometria e de altimetria. Dessa forma, para o recorte desses produtos para a área de interesse, foi utilizada a ferramenta `ee.image.clip()`, que é um método utilizado para produtos raster.

Posteriormente foram utilizadas as opções de filtros, como `ee.image.filterDate` e `ee.image.filterMetadata`, que permitiram definir o período de análise e a cobertura de nuvens. No caso das imagens do Sentinel 2A, foram utilizados esses dois filtros e para as imagens CHIRPS o filtro utilizado foi somente o `ee.image.filterDate`.

Para as imagens multiespectrais do Sentinel 2A, juntamente com as opções de filtro mencionadas, foi também aplicado a função `ee.image.select()` para a seleção das bandas aplicadas na obtenção do NDVI. Através dessa função, selecionou-se as bandas B4 e B8, vermelho e infravermelho próximo respectivamente.

O NDVI foi obtido então pela aplicação da função `ee.image.normalizedDifference()`, para cada imagem selecionada em cada passagem que apresentou a característica de filtro definida, ou seja, livre de cobertura de nuvem. Após foram aplicados os operadores matemáticos `ee.image.add()` – soma e `ee.image.divide()` – divisor – para a obtenção da média dos NDVI em cada período considerado.

A partir da imagem estatística criada, gerou-se uma imagem binária adotando-se como limiar para o fatiamento o valor 0,66 (proposto por BACKES, 2010; LIRA et al, 2011), aplicado pelo operador lógico `ee.image.gt()` – ‘great than’, para a qual valores acima desse limiar receberam o valor 1 e correspondem aos pixels referentes à ocorrência de matas e abaixo desse limiar o valor 0, que correspondem a outras ocorrências.

Para finalizar, exceto pelo perfil topográfico, os demais produtos foram exportados para o Google Drive utilizando a função `ee.Export.image.toDrive()`. A arte final e a apresentação desses produtos foram então realizadas no software CorelDraw. Quanto ao perfil topográfico, os dados foram exportados em formato .csv, o qual pode ser manipulado no Excel para a geração de um gráfico de linha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ferramenta `ee.Image.clip()` se mostrou eficaz para o recorte da área de interesse. Isso é particularmente útil no caso de imagens de satélite, como as do Sentinel 2A, que são capturadas em faixas relativamente estreitas e frequentemente extrapolam os limites da área de interesse. Normalmente, isso exigiria o download de múltiplas imagens, a criação de um mosaico e, em seguida, o recorte da área desejada.

Essa ferramenta simplifica esse processo, eliminando a necessidade de manipular grandes volumes de dados e economizando tempo, especialmente quando há muitas imagens a serem processadas. O uso do `ee.Image.clip()` reduziu o volume de dados necessário para o processamento das imagens, otimizando a eficiência do trabalho. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam a delimitação da área de estudo que foram recortadas com a utilização dessa ferramenta.

Para as imagens multitemporais, a ferramenta `ee.Filter.date()` foi de suma importância, pois permitiu a seleção precisa de imagens com base em intervalos de datas especificados, o que é crucial para a análise de mudanças ao longo do tempo. A capacidade de filtrar imagens por período facilitou, por exemplo, a representação do

volume de chuvas nos dois períodos definidos (Figura 3), sendo muito útil em estudos climáticos.

A análise dos dados de precipitação espacial na região revelou diferenças significativas entre os períodos estudados. A apresentação dos dois produtos cartográficos demonstrou de forma clara as variações pluviométricas, evidenciando que o acumulado de precipitação no período de 2023/2024 foi inferior ao registrado em 2016/2017. Esses mapas proporcionaram uma visualização eficaz das mudanças na distribuição da precipitação, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos padrões climáticos e suas implicações para a região. Essa comparação não apenas ilustra a dinâmica climática, mas também pode informar estratégias de gestão de recursos hídricos e planejamento ambiental, uma vez que se tratam das principais nascentes do rio Pirapó.

Não menos importante foi a representação da vegetação arbórea (Figura 2) que apresentou o cenário em que se encontrava em 2016/2017 e atual (2023/2024), detectando as mudanças ocorridas nesse interstício, possibilitando o monitoramento do desmatamento e da recuperação das matas.

Figura 2: (a) NDVI para o período 2016/2017; (b) NDVI para o período 2023/2024; (c) Perda e ganho vegetacional.

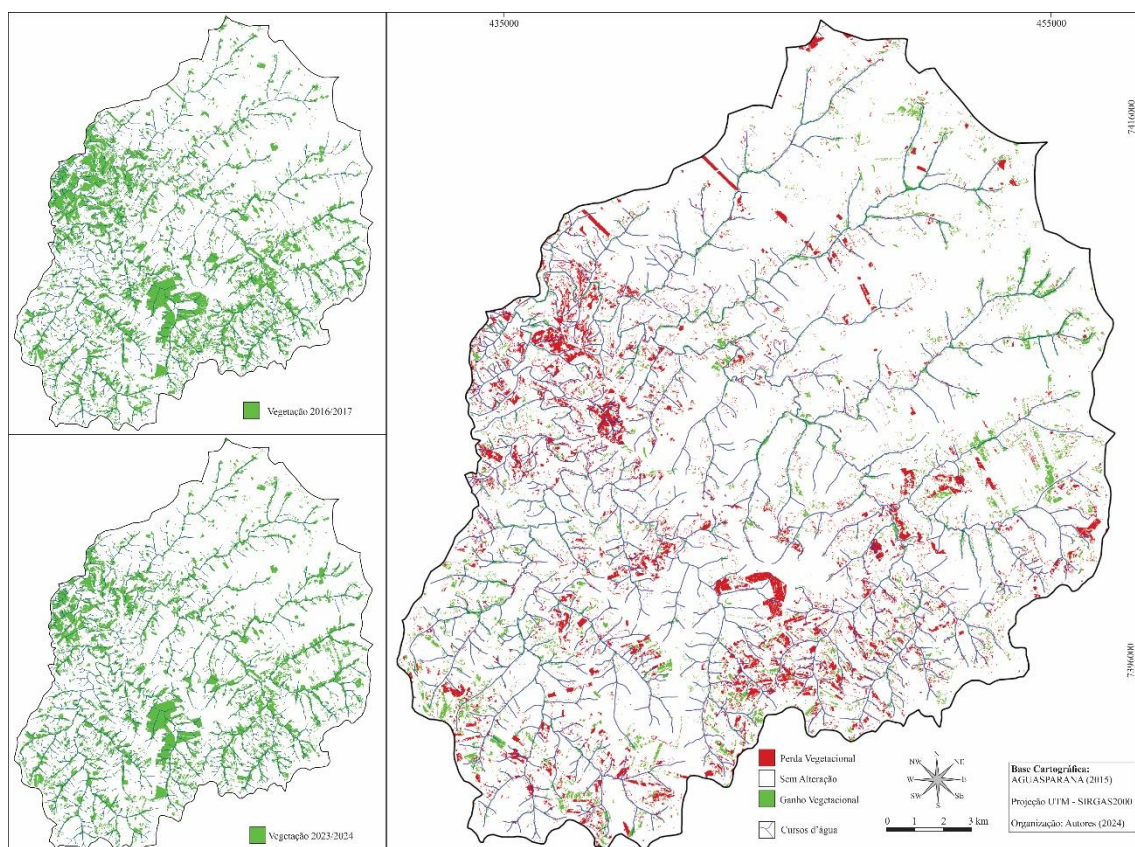
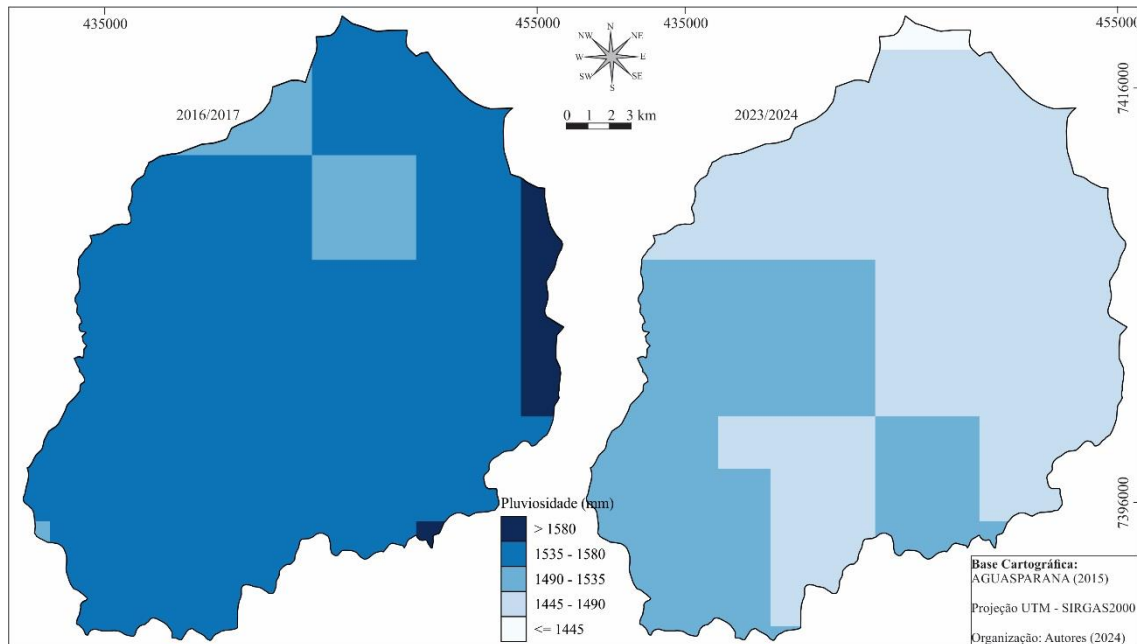
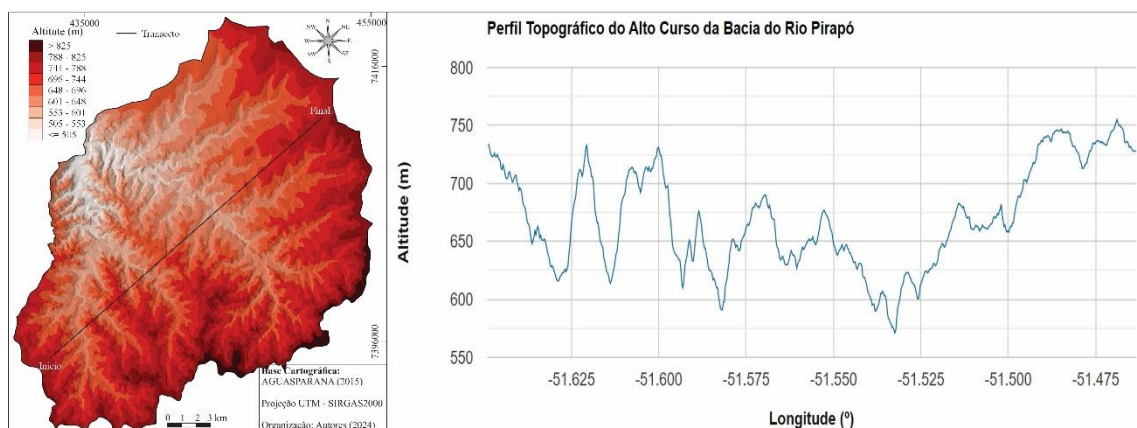


Figura 3: Precipitação para o período 2016/2017 (à esquerda); Precipitação para o período 2023/2024 (à direita).



A construção e visualização da carta hipsométrica foram significativamente facilitadas pela utilização da funcionalidade `reduceRegion` e da função `ee.reduce.minMax()`. A funcionalidade `reduceRegion` permite a análise eficiente de grandes volumes de dados geoespaciais dentro da área de estudo, possibilitando a extração de informações relevantes de forma rápida e precisa.

Figura 4: Carta hipsométrica (à esquerda); Perfil topográfico (à direita).



A função `ee.reduce.minMax()`, por sua vez, simplifica a obtenção dos valores de amplitude altimétrica, essenciais para a representação das variações de relevo. Juntas, essas ferramentas, aliadas aos parâmetros de visualização, proporcionaram uma maneira

intuitiva e eficaz de gerar produtos cartográficos. Os parâmetros de visualização permitiram ajustar o degradê e os estilos de apresentação, garantindo que as características topográficas da área estudada sejam claramente evidenciadas e facilmente interpretadas. Essa abordagem integrada facilitou tanto a análise quanto a comunicação dos dados geoespaciais.

A construção do perfil topográfico exigiu a utilização de várias funcionalidades adicionais, mas permitiu a visualização detalhada da variação altimétrica ao longo do transecto que cruzou diversos cursos d'água. Contudo, uma desvantagem notável foi que, para a representação no eixo horizontal, foi utilizada a longitude em vez da distância real percorrida. Essa escolha comprometeu a precisão na interpretação do perfil, uma vez que a verdadeira distância não foi considerada. Até o momento da apresentação deste trabalho, não foi possível resolver essa limitação, o que destaca a necessidade de aprimoramentos nas metodologias empregadas para futuras análises.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas disponíveis na plataforma são extremamente úteis para facilitar a execução dos trabalhos de pesquisa. Elas simplificam processos complexos, economizam tempo e aumentam a eficiência ao lidar com grandes volumes de dados. A utilização dessas ferramentas permite que os pesquisadores concentrem seus esforços na análise e interpretação dos resultados, ao invés de se preocuparem com a manipulação técnica dos dados, parafraseando o que o vídeo de abertura apresenta: ‘permitir que o cientista se concentre na ciência ao invés de baixar e gerenciar dados.’”

Além disso, os scripts desenvolvidos para essas ferramentas são altamente versáteis e podem ser aplicados em diversas áreas de estudo. Eles são projetados de maneira flexível, de modo que, para utilizá-los em um novo contexto, basta alimentar a plataforma com os arquivos referentes à área de interesse específica. Isso torna a adaptação para diferentes projetos de pesquisa rápida e simples, permitindo que os pesquisadores de várias disciplinas aproveitem as mesmas técnicas e recursos avançados.

As funcionalidades apresentadas neste trabalho representam apenas uma parte das ferramentas disponíveis na plataforma. Existem muitas outras opções que podem ser extremamente úteis para diferentes tipos de análises e pesquisas, abrangendo uma variedade de necessidades e contextos. Essas ferramentas adicionais oferecem

flexibilidade e permitem que os pesquisadores personalizem suas abordagens de acordo com os objetivos específicos de seus estudos.

Cabe ao pesquisador explorar essas funcionalidades extras, experimentando e aplicando-as conforme necessário para enriquecer sua análise. A exploração das diversas ferramentas disponíveis não apenas amplia o escopo das investigações, mas também pode revelar novas perspectivas que poderiam passar despercebidas. Dessa forma, o domínio dessas funcionalidades adicionais é fundamental para otimizar o uso da plataforma e maximizar a eficácia das pesquisas desenvolvidas.

Palavras-chave: NDVI; Sentinel 2A; Imagens Multiespectrais; SRTM; CHIRPS.

REFERÊNCIAS

AGUASPARANÁ. Elaboração do Plano das Bacias: Pirapó, Paranapanema 3 e 4. Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia do Piraponema. v. 1, 2015.

BONIFÁCIO, C. M.; NÓBREGA, M. T. de e SILVEIRA, H. As unidades de paisagem na alta bacia do rio Pirapó – Brasil: abordagem em bacias hidrográficas. <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal14/Procesosambientales/Geomorfologia/12.pdf>. Lima-Peru – 2013.

ESA - European Space Agency. Sentinel-2 MSI UserGuide. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>. Acesso em 10 jun. 2024.

ESERO. European Space Education Resouce Office, 2024. Disponível em: <https://esero.es/practic-as-en-abierto/observa-la-tierra-desde-el-espacio-14-18/familia_sentinel.html>. Acesso em: 03 jun. 2024.

GEE – Google Earth Engine. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em 08 jun. 2024.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI.<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.

LIRA, M. V. et al. Variação sazonal da cobertura vegetal em áreas do submédio São Francisco a partir de dados NDVI e imagens TM-LandSat 5. *EnciclopédiaBiosfera*, v.7, n. 12, 2011.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MARQUES, A. J.; MONTANHER, O. C. Mapeamento da cobertura vegetal para atualização cartográfica em Maringá/PR com uso de abordagem estatística do NDVI e árvore de decisão. *Caminhos de Geografia*, v. 24, n. 93, jun./2023, p. 65–76 DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG249365520>

RIGON, O.; PASSOS, M. M dos. Estudo Fisiográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó-PR. *Geografia (Londrina)* v. 23, n. 1. p. 35 – 56, jan/jun, 2014.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 8, 127–150, 1979.