



**UnB**

Faculdade UnB  
Planaltina

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UNB PLANALTINA  
BACHARELADO EM GESTÃO AMBIENTAL**

**JOÃO VITOR DIAS CERQUEIRA**

**MONITORAMENTO ECOHIDROLÓGICO EM ÁREAS DE  
CERRADO NATIVO NO DISTRITO FEDERAL**

**Planaltina-DF**

**2025**

**João Vitor Dias Cerqueira**

**MONITORAMENTO ECOHIDROLÓGICO EM ÁREAS DE  
CERRADO NATIVO NO DISTRITO FEDERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao Bacharelado em Gestão  
Ambiental da Faculdade UnB Planaltina  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
Bacharel em Gestão Ambiental da  
Universidade de Brasília.

Orientadora: Profa. Dra. Andreia de Almeida

**Planaltina-DF**

**2025**

**João Vitor Dias Cerqueira**

**MONITORAMENTO ECOHIDROLÓGICO EM ÁREAS DE  
CERRADO NATIVO NO DISTRITO FEDERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina (FUP/UnB), como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Gestão Ambiental da Universidade de Brasília.

Planaltina-DF, 15 de dezembro de 2025.

**Banca Examinadora**

---

Profa. Dra. Andreia de Almeida – UnB/FUP  
(Orientadora)

---

Prof. Dr. Luiz Felipe Salemi – UnB/FUP  
(Examinador)

---

Prof. Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento+- – UnB/FUP  
(Examinador)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer primeiro a Deus, por tudo em minha vida, pelo conhecimento e saúde, por ter me sustentado e me dado força em momentos de dificuldades, pelos seus feitos em minha vida.

À toda minha família, por todo apoio oferecido, por todo incentivo, por todo acolhimento e amor. Em especial a minha mãe, pela criação e caráter. E aos meus colegas que me auxiliaram durante o processo, com o esclarecimento de dúvidas, ajuda nas atividades de campo e pelos momentos de descontração.

À minha professora e orientadora, Dra. Andreia de Almeida, pela sua amizade e paciência, pelo conhecimento e experiência compartilhado ao longo do trabalho e acima de tudo pela sua confiança em mim, sem ela esse trabalho não teria sido feito.

E ao Instituto de Geociência da UnB pelo apoio e a disponibilização dos equipamentos.

**Resumo:** O monitoramento ecohidrológico em áreas de Cerrado pode fornecer dados a acerca da relação água, solo, vegetação. Com isso em mente, o objetivo do presente estudo foi realizar a caracterização ecohidrológica na região da Fazenda Água Limpa (FAL/UnB), localizada na bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, e para a Faculdade UnB Planaltina (FUP/UnB), situada na bacia hidrográfica do Alto São Bartolomeu. Nesse contexto, buscou-se: 1) avaliar a utilização de métodos indiretos para a obtenção de dados hidrológicos (umidade do solo e escoamento ao longo do caule/tronco das árvores - stemflow); e 2) compreender a relação entre a umidade do solo e as características da vegetação. A análise comparativa entre as técnicas de medição de umidade do solo revelou que, embora a sonda de reflectometria no domínio do tempo (TDR) seja prática, a correlação com os dados derivados do método padrão (gravimetria em estufa) não foi satisfatório ( $R^2 = 0.22$ ). Por meio da classificação de uso e cobertura do solo atualizada para 2025 observou-se o padrão de distribuição da vegetação nas áreas de estudo, com indicação de valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) variando entre -0.6 e 0.5 para a FAL e -0.5 e 0.6 para a FUP. Esses valores, representativos da seca de 2025 podem refletir a disponibilidade de umidade do solo para a vegetação nas áreas de estudo. Com relação ao stemflow, a avaliação preliminar por meio da aplicação do método geofísico elétrico de corrente contínua no tronco de um exemplar de pequizeiro (*Caryocar brasiliense*) indicou variação na resistividade elétrica na circunferência do tronco, possivelmente associada à disponibilidade de água. Investigações futuras se fazem necessárias para avançar com a calibração da sonda TDR; investigar a relação entre valores de NDVI e umidade do solo e a avaliar sazonal do stemflow por meio da aplicação combinada de métodos diretos e indiretos.

**Palavras-Chave** – Umidade do solo, vegetação, QGIS

**ABSTRACT:** Ecohydrological monitoring in Cerrado areas can provide data on the relationship between water, soil, and vegetation, which is important for water resource management. The objective of this study was to carry out ecohydrological characterization in the region of the Água Limpa Farm (FAL/UnB), located in the Ribeirão do Gama river watershed, and for the UnB Planaltina Faculty (FUP/UnB), situated in the Upper São Bartolomeu river watershed. In this context, the objectives were: 1) to evaluate the use of indirect methods for obtaining hydrological data (soil moisture and stemflow); and 2) to understand the relationship between soil moisture and vegetation characteristics. Comparative analysis of soil moisture measurement techniques revealed that, although time-domain reflectometry (TDR) is practical, the correlation with data derived from the standard method (gravimetry soil moisture) was not satisfactory ( $R^2 = 0.22$ ). Using the updated land use and land cover classification for 2025, the vegetation distribution pattern in the study areas was observed, indicating Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values ranging from -0.6 to 0.5 for the FAL and -0.5 to 0.6 for the FUP. These values, representative of the 2025 drought, may reflect the availability of soil moisture for vegetation in the study areas. Regarding stemflow, preliminary assessment using the direct current electrical geophysical method on the trunk of a pequi tree (*Caryocar brasiliense*) indicated variation in electrical resistivity around the stem, possibly associated with water availability. Further investigations are needed to advance the calibration of the TDR probe; to investigate the relationship between NDVI and soil moisture data and to assess seasonal stemflow through the combined application of direct and indirect methods.

**Keywords** – Soil moisture, vegetation, QGIS.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
<b>2.1. Ciclo hidrológico</b> .....	11
<b>2.2. Métodos de monitoramento de umidade do solo</b> .....	13
<b>2.2. Métodos de monitoramento de stemflow</b> .....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
<b>3.1. Área de Estudo</b> .....	17
<b>3.2. Metodologia</b> .....	21
3.2.1 MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO .....	21
3.2.2. CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DO SOLO E RELAÇÃO COM A UMIDADE DO SOLO.....	23
3.2.3 CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA PARA AVALIAÇÃO DE FLUXO DE ÁGUA NO CAULE DE ÁRVORES (STEMFLOW) .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>4.1. Avaliação da umidade do solo a partir de dados de campo</b> .....	26
<b>4.2. Análise da cobertura do solo</b> .....	28
<b>4.3. Caracterização geelétrica do stemflow</b> .....	32
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	35
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	36

## 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento ecohidrológico permite a obtenção de dados que subsidiem o uso eficiente dos recursos hídricos, evitando a superexploração dos aquíferos, rios e lagos, proporcionando o abastecimento de água para diferentes usos. A falta de dados hidrológicos pode vir a impedir o planejamento adequado de uma área de estudo. O monitoramento hidrológico é uma etapa essencial para a gestão de recursos hídricos devido a demanda por água para múltiplos usos, tais como agricultura, abastecimento humano, abastecimento animal, indústrias, usinas hidrelétricas e mineração (ANA, 2023).

O monitoramento de bacia hidrográfica tem como objetivo fornecer dados acerca da relação água, solo, vegetação. Com isso, pode-se identificar possíveis impactos provenientes das alterações climáticas e do uso e cobertura do solo, de forma que permite adequação e exploração de tecnologias que possam potencializar a obtenção de dados, ressalta o papel da vegetação nativa na gestão da água, que proporciona uma infiltração e um armazenamento hídrico mais eficientes.

Dessa forma pesquisas conduzidas em bacias fornecem informações valiosas para a formulação de políticas públicas voltadas para a proteção e a gestão sustentável dos recursos hídricos. A implementação de práticas de gestão baseadas em evidências científicas tem como objetivo mitigar os impactos das atividades humanas e promover a resiliência dos ecossistemas (Head, 2010; Miralles et al., 2023). As análises que comparam áreas com vegetação nativa e aquelas que foram alteradas demonstram claramente como as mudanças na cobertura vegetal afetam o ciclo hidrológico, inclusive resultando na redução da capacidade de recarga dos aquíferos (Ferreira et al., 2021; Ellison et al., 2017).

Considerando que a água é um recurso essencial para a vida, sendo um recurso finito e vulnerável, deve-se ter o monitoramento para assegurar que a quantidade e qualidade da água estejam de forma mais adequada para a sobrevivência. O monitoramento hidrológico exerce um papel fundamental na gestão sustentável dos recursos hídricos, uma vez que fornece informações cruciais sobre a dinâmica das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas. Isso permite a identificação de alterações no regime hídrico, a avaliação dos efeitos ambientais e o apoio a iniciativas de planejamento e conservação (Pereira et al., 2020). Isso demonstra a importância de se ter uma rede de monitoramento hidrológico.

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Gama, localizada na parte centro-sul do Distrito Federal, é uma bacia que possui grande importância tanto ambiental quanto

hidrológica. Ela é fundamental para o fornecimento de água para o Lago Paranoá, o qual faz parte da bacia hidrográfica do Paraná. A bacia hidrográfica do ribeirão do Gama oferece uma considerável contribuição hídrica ao Lago Paranoá, com vazões médias mensais em torno de 2,90 m<sup>3</sup>/s. Além disso, ela atende às necessidades de irrigação e abastecimento de água para a população.

Desde a década de 1970, a área possui uma rede de monitoramento hidrometeorológico, que opera com estações pluviométricas e fluviométricas sob a gestão da Universidade de Brasília (UnB), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), da ADASA e da CAESB (DA, Panorama et al., 2021). Essas atividades configuram a bacia como um ponto de referência para investigações relacionadas à hidrologia do Cerrado, possibilitando a compreensão da dinâmica da umidade no solo, os mecanismos de evapotranspiração e as consequências das alterações na utilização e no uso da terra (Almeida, 2023; Dos Santos et al., 2021).

A bacia hidrográfica do Alto Rio São Bartolomeu é outra importante área para a manutenção dos recursos hídricos no Distrito Federal. Nascida na porção norte do Distrito Federal, a bacia tem como principal drenagem o Ribeirão Mestre D'armas, que irá contribuir para a formação do Rio São Bartolomeu, considerado um corpo hídrico de domínio da União englobar área de contribuição no DF e em Goiás (Sena-Souza et al., 2014). A intensificação da ocupação antrópica na bacia hidrográfica do Alto São Bartolomeu, apresentando atividades agrícolas diversas e expansão urbana, evidencia a importância de estudos que avaliem o papel do Cerrado para a manutenção do ciclo hidrológico.

Diante desse cenário, o objetivo do presente estudo foi realizar a caracterização ecohidrológica na região da Fazenda Água Limpa (FAL/UnB), localizada na bacia do ribeirão do Gama, e para a Faculdade UnB Planaltina, situada na bacia do Alto São Bartolomeu. A partir do objetivo geral, foram estabelecidos dois objetivos específicos: 1) avaliar a utilização de métodos indiretos para a obtenção de dados hidrológicos (umidade do solo e escoamento ao longo do caule/tronco das árvores - *stemflow*); e 2) compreender a relação entre a umidade do solo e as características da vegetação, a partir da análise de produtos de sensoriamento remoto.

De modo específico, o estudo abrangeu a organização e coleta de dados de umidade do solo por meio de métodos convencionais (umidade gravimétrica padrão) e sonda TDR (*time domain reflectometry*) para o monitoramento indireto da umidade. O *stemflow* foi avaliado de modo preliminar pela aplicação do método geofísico elétrico de

corrente contínua, que tem como variável de interesse a resistividade elétrica do meio. É importante ressaltar que, apesar de constituírem uma fração reduzida do ciclo hidrológico, a umidade do solo e o *stemflow* são variáveis-chave na avaliação do ciclo hidrológico na superfície terrestre, como resultado da interação água-vegetação-solo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Ciclo hidrológico

Ciclo hidrológico ou ciclo da água (Figura 1) é o movimento contínuo, onde as águas dos oceanos, lagos, rios, reservatórios e vegetação tornam-se vapor como resultado do aquecimento pela radiação solar e transferência de calor da Terra (evapotranspiração). O vapor sobe para a atmosfera, resfria, condensa e forma nuvens que podem precipitar em diferentes estados físicos, a depender da temperatura da atmosfera.

Ao atingir o dossel da vegetação, a precipitação pode evaporar, ser armazenada ou ser redistribuída para a superfície nas formas de i) precipitação interna (throughfall), montante que atravessa os espaços entre a copa da vegetação, ou de ii) escoamento ao longo do caule/tronco das árvores (stemflow). De forma mais específica, o stemflow consiste em uma parcela da precipitação interceptada, que drena das folhas e galhos, é canalizada para o tronco e pode escoar até o solo. A soma das parcelas de throughfall e de stemflow é denominada precipitação líquida ou efetiva, e refere-se ao montante de água que efetivamente atinge a superfície do solo (Parker 1983).

A precipitação interna tende a ser a parcela predominante de redistribuição da precipitação total (superior à 70%), enquanto menos de 5% é convertido em escoamento pelo tronco (Levia e Frost, 2015). No entanto, esse percentual varia amplamente em função das características climáticas e de estrutura da vegetação (Antoneli et al., 2021). Tonello et al. (2021), verificaram que cerca de 2,5% da precipitação foi convertida em fluxo no caule em árvores de Cerrado no interior de São Paulo, com variações nesse percentual em função das características da precipitação em função da textura da casca (lisa > escamada > sulcada).

Considerando o montante médio de stemflow equivalente a 5% da precipitação, em uma área com vegetação madura esse processo hidrológico pode canalizar 20 vezes mais água para o solo próximo ao tronco em comparação com a chuva em área aberta equivalente (Arcova et al., 2003). Isso ressalta a importância do stemflow para o funcionamento dos ecossistemas devido às suas implicações ecológicas, hidrológicas e biogeoquímicas das áreas próximas ao tronco (Levia & Germer, 2015).

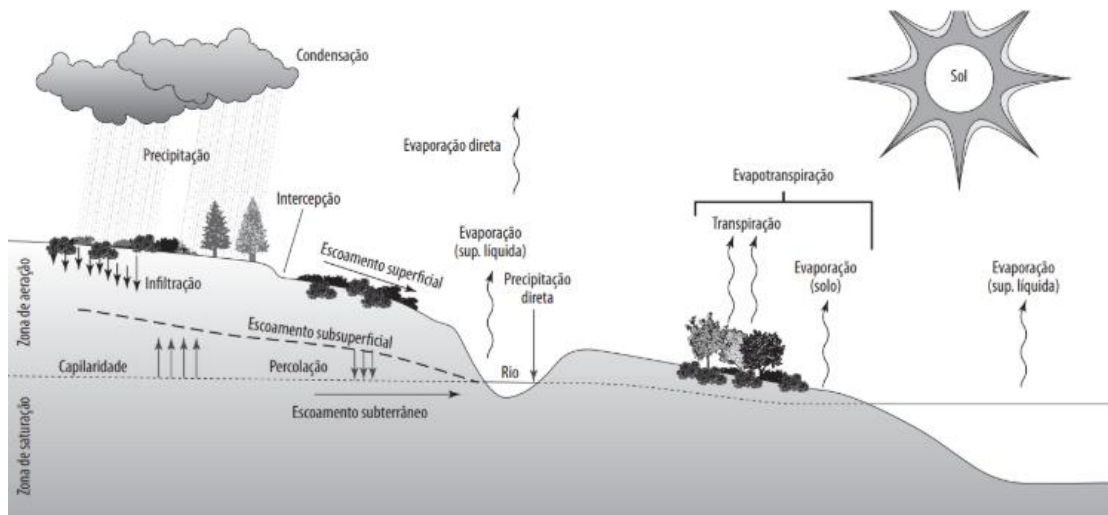


Figura 1 Representação esquemática do ciclo hidrológico: Fonte: TELLES (2012)

Da parcela de precipitação que atinge a superfície, uma parte pode ser convertida em escoamento superficial, que será direcionado para as áreas menos elevadas, até atingir os rios. Outra parte é infiltrada no solo, recarregando a umidade do solo (Figura 2). O termo umidade do solo refere-se à água presente na zona vadosa (camada do solo predominantemente não saturada e de interface entre a atmosfera e as formações geológicas subsequentes).

Posteriormente, a umidade do solo pode contribuir para a recarga de aquíferos (formação geológica que armazena água subterrânea e permite o seu escoamento). Apesar de constituir uma fração reduzida do ciclo hidrológico global ( $\sim 0,05\%$ ), umidade do solo auxilia no controle do ciclo hidrológico terrestre, pois define as perdas de água por evaporação e o montante de água que poderá infiltrar ou escoar após novos eventos de chuva.

Gutierrez (2021) traz que o entendimento da umidade do solo oferece informações essenciais sobre a condição da água nas áreas irrigadas, além de ajudar a diminuir os custos associados ao consumo de água e eletricidade. Para isso, é fundamental um planejamento e uma gestão eficazes da irrigação, que possibilitem a aplicação controlada e intermitente de água, com base na medição da umidade presente no solo.

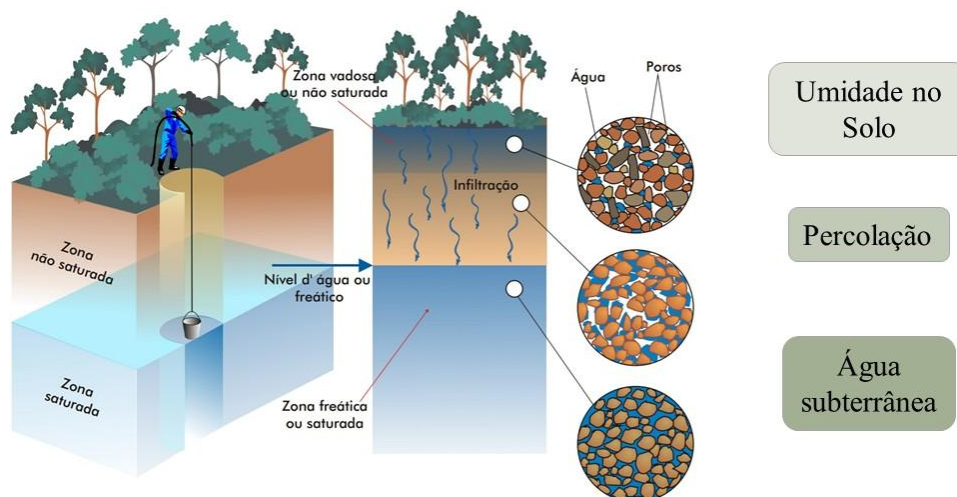


Figura 2. Representação dos processos e armazenamentos de água na subsuperfície. Adaptado de Feitosa et al (2008).

## 2.2. Métodos de monitoramento de umidade do solo

Diferentes métodos podem ser utilizados para quantificar a umidade do solo. A avaliação da umidade do solo utilizando o método gravimétrico é amplamente reconhecida como uma referência, padrão, em virtude de sua precisão na quantificação da água existente no solo. Conforme Embrapa (2017), o processo de secagem das amostras em estufa, com temperaturas entre 90 °C e 105 °C, é considerado o método padrão para eliminar a umidade livre do solo. Essa técnica permite determinar a massa do solo seco de forma precisa até atingir um peso constante.

Para BUSKE et al., (2014) o método padrão para a avaliação da umidade no solo é amplamente considerado. O método gravimétrico como referência para analisar outras fontes de aquecimento, como micro-ondas e fornos de aquecimento rápido. Este método, realizado em uma estufa convencional, garantiu maior precisão e consistência nos resultados obtidos. O autor ressalta a importância de calibrar métodos alternativos com base na abordagem gravimétrica, a fim de assegurar a confiabilidade das medições.

Apesar da precisão, o método padrão de determinação da umidade do solo apresenta limitações. O período requerido para a secagem do solo até que se alcance uma massa constante é de pelo menos sete dias, podendo demorar ainda mais em função das características do solo e do equipamento disponível para o processo de secagem. Em função da demanda de uma ampla coleta de amostras de solo e do tempo necessário para a secagem, sensores para determinação indireta da umidade do solo têm sido amplamente utilizados. A utilização de sensores de umidade do solo no campo é amplamente adotada para uma gestão eficaz da irrigação e para práticas de agricultura de precisão.

Dentre esses, o TDR (*Time Domain Reflectometry* – Reflectometria no domínio do tempo) pode ser utilizados na estimativa da umidade do solo (Johnson, 1992). É considerado vantajoso por permitir a aquisição de dados de modo automatizado e menos invasivo, diferentemente do método gravimétrico, e por não representar risco à saúde do operador, como ocorre com as sondas de nêutrons que necessitam de fontes radioativas (Andrade et al., 1998). Sensores de umidade do solo com princípio de funcionamento TDR tem como parâmetro de interesse a constante dielétrica ( $\epsilon$ ), também denominada permissividade (White e Zegelin, 2000).

Como a permissividade da água é cerca de 200% maior que a do solo e do ar (81, 4, e 1, respectivamente), a presença de umidade altera sensivelmente a permissividade do solo, possibilitando que a referida grandeza seja utilizada como medida indireta do teor de umidade (White e Zegelin, 2000). Em geral, a permissividade ( $\epsilon$ ) obtida pela sonda TDR pode ser relacionada à umidade volumétrica ( $\theta_v$ ) por meio da função empírica proposta por Topp et al. (1980) (Eq 2).

$$\theta_v = -5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2} \epsilon_1 - 5,5 \times 10^{-4} \epsilon_2 + 4,3 \times 10^{-6} \epsilon_3 \quad (2)$$

Sensores TDR são compostos basicamente por um gerador de pulsos elétricos de voltagem rápida e um analisador de sinais conectado a uma interface de leitura (White e Zegelin, 2000). No caso dos sensores TDR que permitem a perfilagem da umidade do solo, isto é, que fornecem dados de umidade em diferentes profundidades, tubos de acesso são necessários para revestir os furos e garantir o contato adequado da sonda com o solo.

Adicionalmente, a integração de dados obtidos por sensoriamento remoto com dados de campo enriquece a compreensão da dinâmica da água no solo, fornecendo informações essenciais para uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Contudo, a precisão das estimativas ainda enfrenta desafios técnicos, como a necessidade de dados locais e a influência de fatores como vegetação densa e a textura do solo MAFFRA (2016).

Limitações da aplicação do sensoriamento remoto para o monitoramento da umidade do solo estão associadas à profundidade de penetração do sinal, de forma que o resultado representa a umidade da camada superficial do solo, e podem existir erros nas estimativas devido a interferências da vegetação ou radiofrequência (principalmente em

áreas urbanas). Por esse motivo, aprimorar a obtenção de dados em campo é essencial para avançar com o monitoramento via sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto para monitoramento da umidade do solo baseia-se na captação de informações da superfície terrestre por satélites equipados com sensores ópticos, térmicos e, principalmente, de micro-ondas. Os sensores ópticos (como Sentinel-2 e Landsat) estimam a umidade superficial a partir da reflectância do solo e da vegetação em diferentes bandas do espectro

Para monitorar a umidade do solo usando sensoriamento remoto envolve capturar imagens de satélite de forma constante e, em seguida, usar métodos de processamento para transformar esses dados brutos em cálculos da quantidade de água presente no solo. Desse modo, o comportamento espacial e temporal da umidade do solo pode ser inferido a partir de dados de sensoriamento remoto por meio da estimativa indireta gerada por índices de vegetação ou ainda com a combinação de bandas com diferentes resoluções espectrais que evidenciem tais características, como por exemplo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index (GAO, et al., 2017).

## 2.2. Métodos de monitoramento de stemflow

Com relação ao monitoramento do *stemflow*, estudos direcionados à caracterização e quantificação ainda são incipientes, visto que representa uma porcentagem menor da precipitação incidente e um processo hidrológico de difícil quantificação diante da influência dos fatores bióticos e abióticos na sua geração e padrões de ocorrência.

Levia et al. (2015) apresentam que o stemflow é analisado em campo, principalmente, por meio da instalação de um coletor que é localizado ao redor do tronco das árvores, denominado collar ou colarinho. Este dispositivo, frequentemente confeccionado em PVC, mangueira plástica ou material flexível, é vedado de maneira precisa ao tronco utilizando silicone ou um composto impermeável, garantindo que toda a água que flui pela superfície do tronco seja direcionada para o sistema de coleta.

Estudos recentes têm indicado a possibilidade de utilização de métodos não invasivos, a exemplo da geofísica aplicada, com foco na análise do comportamento hídrico no tronco das árvores (Divakara e Chaithra, 2022). O método elétrico de corrente contínua é um dos métodos que integram a geofísica aplicada, sendo fundamentado na investigação da resistividade elétrica ( $\rho$ ). Expressa em ohm.m ( $\Omega.m$ ),  $\rho$  corresponde à

resistência  $R$  (em  $\Omega$ ) à passagem da corrente elétrica ao longo do comprimento  $L$  (em m) de um dado material (Telford et al., 1990). Por meio do método elétrico de corrente elétrica pode-se investigar de forma indireta as propriedades físicas em subsuperfície associadas ao comportamento elétrico do meio investigado.

A resistividade elétrica do solo relaciona-se de forma inversa ao teor de umidade, permitindo avaliar características subsuperficiais associadas ao armazenamento de água (Arruda et al., 2018). De modo geral, destacam-se os estudos que aplicam o método elétrico de corrente contínua na análise da movimentação de água no solo, no mapeamento de áreas com potencial de contaminação e na identificação de variações estruturais relacionadas ao manejo e as características de uso e cobertura do solo (Braga, 2016; Nascimento et al., 1997; Ryazantsev e Bakhmet, 2019).

Segundo Nascimento et al. (2004), o método elétrico de corrente contínua permite avaliar diferentes tipos de solo, pois as classes pedológicas podem apresentar respostas elétricas distintas, associadas a características como teor de umidade, densidade, composição mineralógica e presença de matéria orgânica. No que diz respeito ao uso e cobertura do solo, fatores como compactação, remoção de vegetação ou manejo agrícola também podem influenciar o comportamento elétrico do solo.

Bai et al. (2021) utilizaram o método elétrico de corrente contínua para o monitoramento do nível da água subterrânea em áreas com bombeamento na cidade chinesa de Changchun. Os autores observaram variações da resistividade em função das oscilações na profundidade do aquífero, com o deslocamento das zonas de menor resistividade para camadas mais profundas em função da intensificação do bombeamento.

A medição da resistividade elétrica ( $\rho$ ) representa uma ferramenta alternativa possível para a avaliação da umidade no caule das árvores (Ganthaler et al., 2019). A avaliação da vegetação por meio do método elétrico de corrente contínua apresenta uma metodologia relevante, pois permite a obtenção de dados detalhados sobre árvores vivas e não trazendo danos a estrutura (Vanella et al., 2018). O estudo de Ganthaler et al., (2019) demonstrou que baixos índices de ER estão relacionados ao teor de umidade do tronco, a análise dessas medições permite monitorar a situação hídrica de árvores e detectar pontos críticos de estresse hídrico.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL/UnB). (47°59'02,23"W - 47°53'16,15"W e 15°58'32,77"S - 15°58'56,84"S) (Figura 3) e na Universidade de Brasília, Campus Planaltina (FUP), (Figura 4). A FAL é uma fazenda experimental da Universidade de Brasília, com área total de 4.500 hectares que inclui as bacias hidrográficas do ribeirão Capetinga, do ribeirão Taquara e integra a bacia hidrográfica do Ribeirão do Gama.

A altitude nas áreas de estudo é de aproximadamente 1100m. O clima da região é tipicamente tropical, classificado como Aw (tropical com inverno seco) segundo a classificação de Köppen, apresentando uma temperatura média anual de 22°C, uma precipitação acumulada anual de cerca de 1500 mm, a qual se concentra predominantemente entre os meses de outubro e março, e uma evapotranspiração média mensal de aproximadamente 65 mm.

Com relação à pedologia, a FAL, apresenta uma paisagem predominantemente composta por Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 5). Adicionalmente ocorrem as classes de solo Cambissolo, solos Hidromórficos e faixas de Laterita Hidromórfica, particularmente ligadas às áreas com maior umidade.

A distribuição dos solos reflete a topografia da região e está conectada à hidrografia local, que é caracterizada por vários cursos d'água. Em relação ao uso e cobertura da terra, a FAL está principalmente ocupada por áreas de cerrado preservado (formações campestres, savânica e florestal), com pequenas parcelas destinadas as atividades de ensino e pesquisa agropecuária (Figura 3).

Na FUP, situada na bacia hidrográfica do Alto São Bartolomeu, o levantamento dos solos demonstrou uma maior concentração de Latossolo Vermelho-Amarelo, seguido pela presença de Latossolo Vermelho e Cambissolo (Figura 6). Com relação a característica do uso e cobertura ocorrem na área da FUP cerrado *stricto sensu* e vegetação associada à formação campestre (Figura 4).

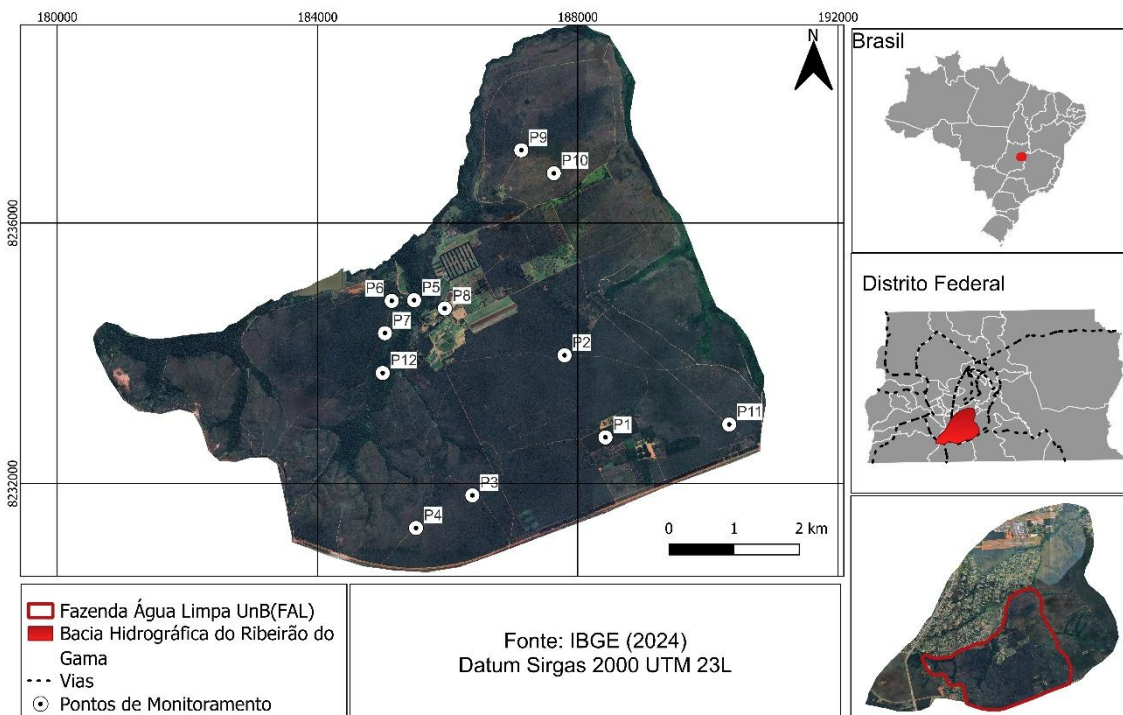


Figura 3. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Própria

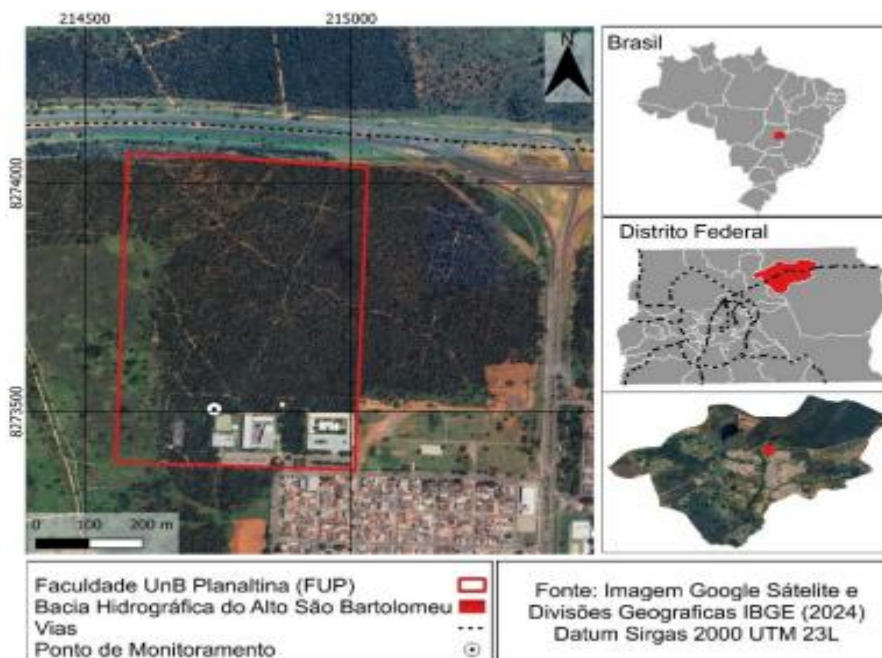


Figura 4. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Própria

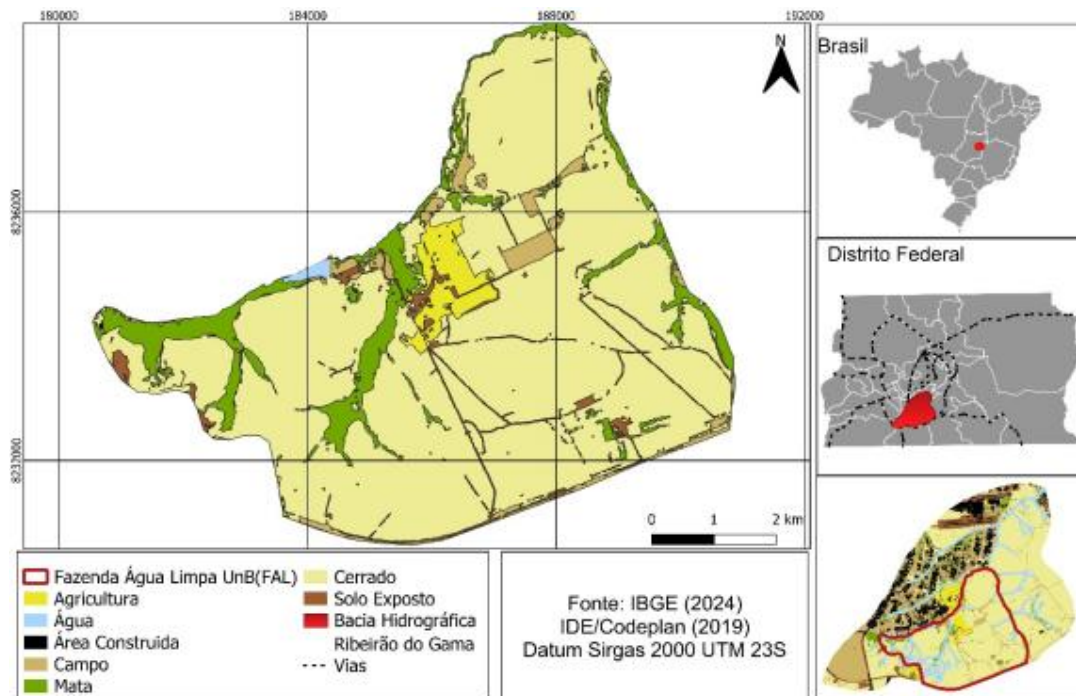


Figura 4. Mapa de Uso e cobertura do solo. Fonte: Própria

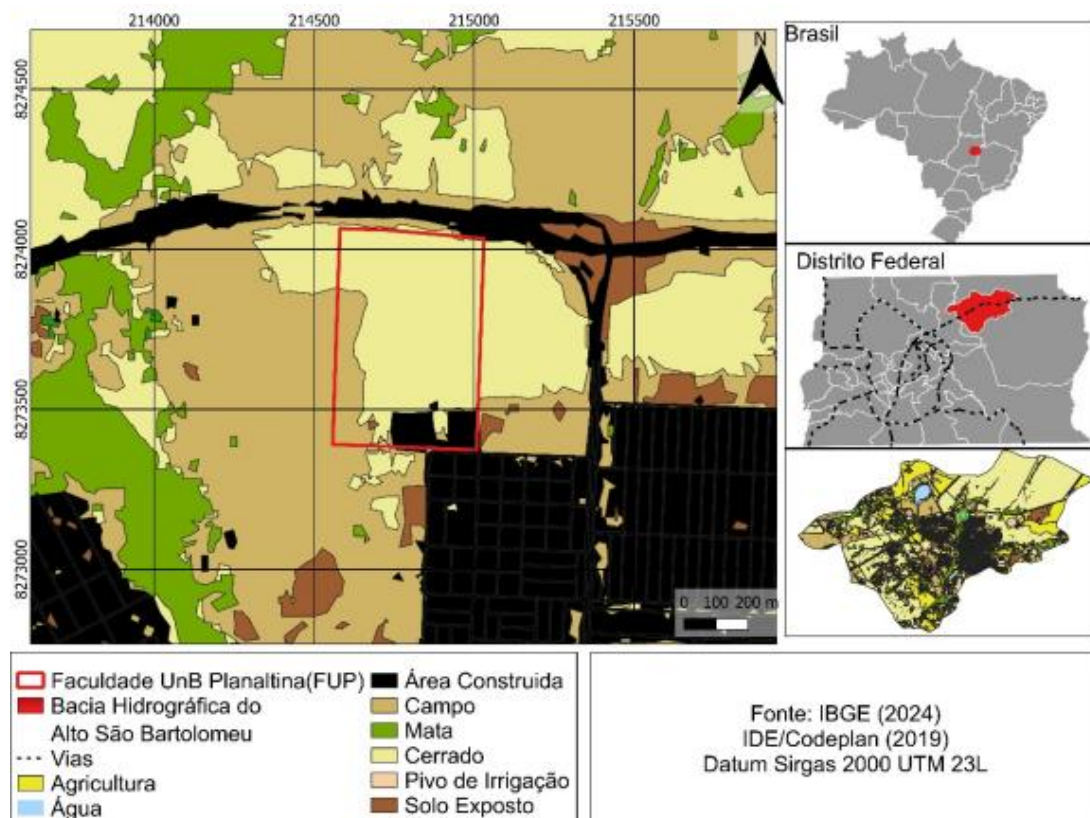


Figura 5. Mapa de Uso e cobertura do solo. Fonte: Própria

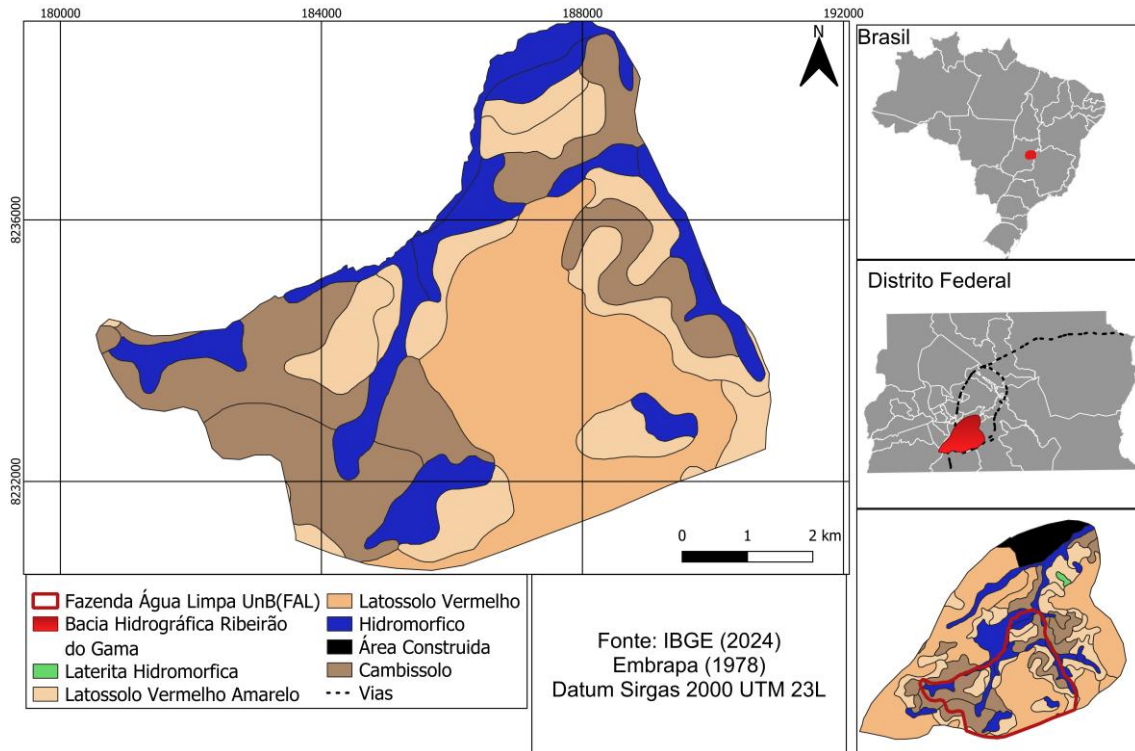


Figura 6. Mapa de Pedologia. Fonte: Própria

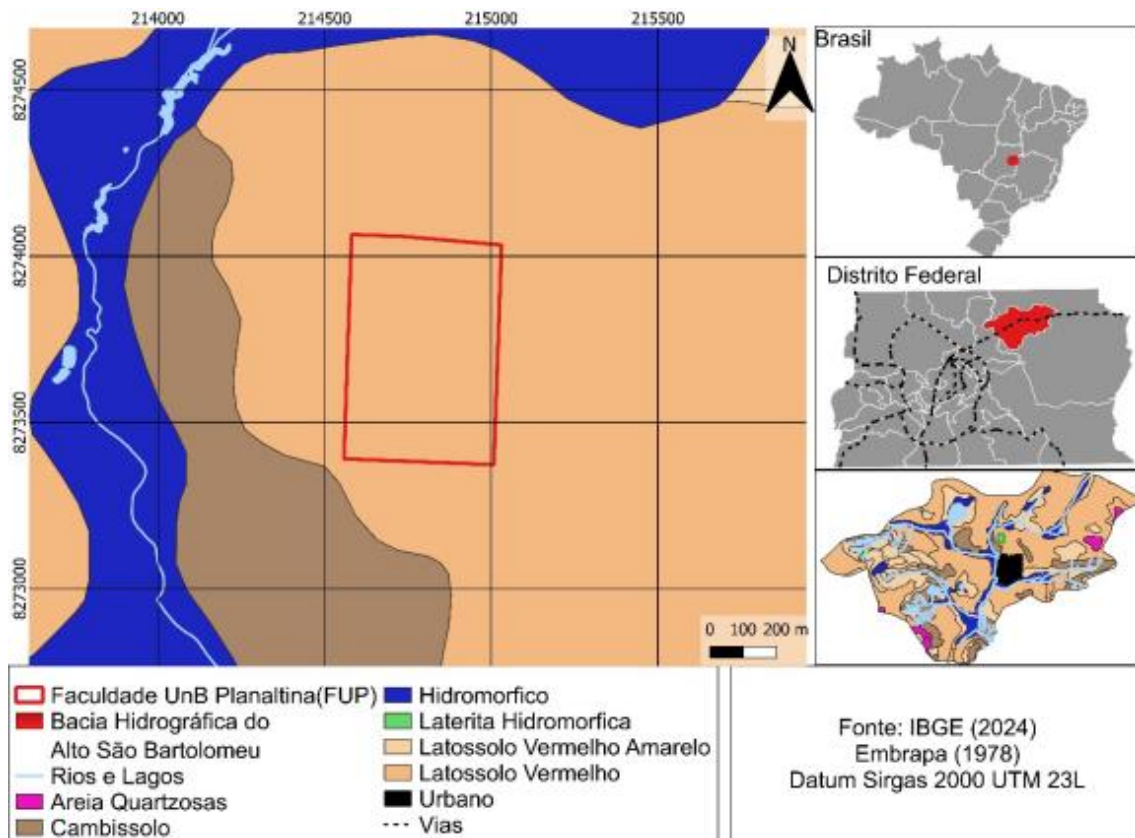


Figura 7. Mapa de Pedologia. Fonte: Própria

## 3.2. Metodologia

### 3.2.1 MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO

Este estudo teve como principal variável de interesse a umidade do solo. Nesse sentido, foram organizados dados de umidade do solo monitorados na área da FAL desde 2019. A FAL já conta com doze pontos de monitoramento (PMs) com um tubo de acesso TECANAT (um policarbonato especialmente fabricado para aplicações na indústria de semicondutores), com 2 m de comprimento e 43 mm de diâmetro interno, para monitoramento da umidade do solo por meio da sonda TDR.

Dentre os 12 PMs instalados na FAL, o presente estudo dedicou-se a coleta e a análise de dados de umidade do solo nos pontos localizados em área de cerrado strictu sensu e latossolo (PM 2, PM3, PM6, PM9 e PM11). Esses critérios foram adotados para facilitar a comparação com os dados obtidos na FUP e por considerar que tais características são predominantes no Cerrado.

Adicionalmente, o estudo envolve a coleta de dados de umidade do solo na FUP, entre junho e novembro de 2025. Na FUP foram instalados tubos de acesso TECANAT, com 20 cm de comprimento e 43 mm de diâmetro interno, para monitoramento da umidade do solo por meio da sonda TDR em seis pontos de monitoramento. Os pontos de monitoramento foram dispostos a 1m de distância de um pequizeiro (*Caryocar brasiliense*).

O monitoramento da umidade do solo (Figura 8) ocorreu durante seis meses, a cada duas semanas na FUP. Além da medição da umidade do solo com o sensor TDR, realizou-se a coleta de amostras não deformadas de solo, com volume de aproximadamente 102 cm<sup>3</sup> (Figura 9) para determinação da umidade gravimétrica. O procedimento foi executado conforme as etapas especificadas: primeiro, a amostra úmida foi pesada em um recipiente adequado, como cápsulas de alumínio, e, em seguida, colocada em uma estufa previamente aquecida a 105 °C por aproximadamente 24 horas (Embrapa, 2017).

Após a secagem, a amostra foi cuidadosamente retirada e deixada para resfriamento, evitando que o solo reabsorvesse umidade do ambiente. Por fim, realizou-se a pesagem final. Esse ciclo garante que apenas a água presente na amostra seja removida. Após a obtenção da massa seca (g), procedeu-se com o cálculo da umidade gravimétrica (g/g) e posterior cálculo da umidade volumétrica (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) a partir da densidade das amostras, aproximadamente 2 g/cm<sup>3</sup>.



Figura 8: Sonda TDR utilizada na aquisição de dados em campo. Fonte: Própria.



Figura 8. Amostras não deformadas de solo para determinação de umidade gravimétrica. Fonte: Própria.

### 3.2.2. CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DO SOLO E RELAÇÃO COM A UMIDADE DO SOLO

A classificação de uso e cobertura do solo nas áreas de estudo foi atualizada para o ano de 2025, para coincidir com o período de aquisição dos dados de umidade do solo em campo. O processo de classificação foi efetuado pelo QGIS, mais especificamente por meio do plugin *Semi-Automatic Classification (SCP)*, um complemento do QGIS que oferece ferramentas para aquisição e gerenciamento de imagens de diferentes satélites.

Por meio do plugin SCP foram obtidas imagens do satélite Sentinel-2A, com resolução espacial de 10 m, para o período de agosto de 2025. Esse período foi selecionado por apresentar reduzida interferência de nuvens nas imagens. Dentre as bandas do satélite Sentinel-2A, foram utilizadas as bandas 2 (azul), 3 (verde), 4 (vermelho) e 8 (infravermelho próximo). Além de possibilitar o download das imagens de satélite, o SCP também foi utilizado no processo de classificação supervisionada das imagens de satélite. Nessa etapa, foram coletadas amostras da imagem que representavam as principais classes de uso e cobertura do solo. A partir do valor de reflectância dessas amostras, classificou-se o restante da imagem.

Além do mapa de uso e cobertura do solo, foram elaborados mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Para determinar o NDVI, utilizaram-se

as bandas 8 e 4, captadas pelo sensor Sentinel-2. No QGIS, a análise do NDVI foi realizada utilizando a ferramenta Calculadora Raster, localizada no módulo de análise raster. Inicialmente, as bandas 8 e 4 foram adicionadas ao projeto, verificando se estavam devidamente alinhadas e apresentavam a resolução correta. Em seguida, a fórmula do NDVI foi aplicada diretamente na calculadora raster por meio da expressão  $(B8 - B4) / (B8 + B4)$ .

O resultado foi um novo raster que representa a distribuição espacial do NDVI. Após o processamento, foram selecionadas cores que facilitassem a interpretação visual, geralmente adotando um gradiente que varia do vermelho, indicando valores negativos de NDVI, ao verde escuro, representando valores positivos de NDVI.

Para compreender o NDVI, é necessário observar os valores que variam de -1 a +1, os quais indicam a densidade e a saúde da vegetação. Valores próximos de +1 refletem áreas com uma vegetação abundante, saudável, crescendo em solo fértil e realizando alta taxa de fotossíntese. Já valores intermediários, como entre 0,2 e 0,4, apontam para regiões com vegetação menos densa ou em processo de regeneração. Por outro lado, valores muito baixos ou negativos indicam a ausência de vegetação, podendo representar áreas com água, solo exposto, locais degradados ou construções urbanas.

### 3.2.3 CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA PARA AVALIAÇÃO DE FLUXO DE ÁGUA NO CAULE DE ÁRVORES (STEMFLOW)

O estudo foi realizado na Faculdade UnB Planaltina, nas proximidades do restaurante universitário do campus (Figura 1), em maio de 2024 e junho de 2025. A área é caracterizada pela ocorrência de vegetação de Cerrado nativo. Nessa região, selecionou-se um exemplar de pequiheiro (*Caryocar brasiliense*), espécie típica do Cerrado. A árvore se encontra em sua fase adulta, possui cerca de 8 metros de altura e 0,85 m de circunferência na porção selecionada para o levantamento geofísico, a cerca de 1,40 m de altura com relação à superfície do solo. O exemplar selecionado apresenta características similares aos demais indivíduos arbóreos adultos identificados na área de estudo.

Para aquisição de dados em campo, foi aplicado o método elétrico de corrente contínua, por meio da técnica de caminhamento elétrico, com arranjo de Wenner. A técnica de caminhamento elétrico fornece dados de resistividade elétrica no formato de seção geométrica bidimensional vertical em diferentes profundidades teóricas de investigação. Neste caso, a seção geométrica resultante apresentou formato circular ao tronco do pequiheiro. Com relação ao arranjo de Wenner, caracterização pelo

espaçamento equidistantes entre os eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN), adotou-se espaçamento AMNB equivalente a 0,06 m, resultando na disposição de 15 eletrodos (pinos de aço inox com 5 cm) ao longo da extensão investigada (circunferência = 0,85 m) (Figura 10).

O equipamento resistivímetro Geopulse (Campus Geophysical Instruments) foi utilizado no levantamento geofísico. Ao todo, foram obtidas 12 medições de resistividade elétrica no caule do pequizeiro em quatro profundidades teóricas de investigação (0,03 m; 0,06 m; 0,09 m e 0,12 m). Após a aquisição dos dados, realizou-se a inversão e a modelagem dos valores de resistividade elétrica aparente, utilizando o software RES2DINV (Loke e Barker, 1995; Loke e Barker, 1996).

De posse dos modelos geoeletricos com ajuste adequado (RMSE inferior à 5%), procedeu-se com a interpolação para a obtenção dos gráficos de resistividade elétrica do caule em coordenadas polares, representativas da circunferência analisada. Esta etapa foi realizada no programa R, por meio do pacote Akima (Akima et al., 2025) e de adaptações da função PolarImageInterpolate (Huang et al., 2022).



Figura 10. Aquisição de dados em campo. Fonte: Própria

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Avaliação da umidade do solo a partir de dados de campo**

Com relação aos dados de umidade do solo determinados por TDR foi possível observar que os pontos 1,2, 4, 5 e 6 da FUP apresentaram variação temporal de entre 7% e 15% de umidade, já o ponto 3 demonstrou variação em torno de 4 a 11% de umidade (Figura 8). A umidade volumétrica padrão apresentou variação entre 5% e 65%, com média de aproximadas de 30% de umidade. A maior parte das medições se concentrou no intervalo de 20% a 40%, indicando níveis intermediários de umidade na maior parte das amostras. No entanto, alguns pontos registraram valores extremos, tanto muito baixos quanto muito altos. Por sua vez, os valores obtidos pelo método TDR variaram de 5% a 40%, concentrando-se principalmente entre 10 e 20%.

Esse método tende a fornecer resultados inferiores e menos dispersos em comparação ao método padrão, refletindo parcialmente a tendência geral, mas sem captar toda a amplitude de variação observada. Tal discrepância é ilustrada pelo  $R^2$  de 0,2203 do gráfico de dispersão, que indica uma relação apenas moderada entre as duas abordagens. Apesar do TDR ser útil para identificar mudanças relativas, sua precisão em relação ao método padrão é limitada, exigindo cautela em análises comparativas, especialmente em solos com características heterogêneas.

A análise do gráfico de dispersão (Figura 7) mostra que a linha traçada reflete uma tendência clara: conforme a umidade padrão aumenta, os valores medidos pelo TDR mostram uma inclinação a subir também. O gráfico, no entanto, evidencia que essa relação não apresenta uma correlação robusta, uma vez que os pontos se encontram dispersos e não seguem a linha de forma consistente.

Isso sugere que, apesar de o TDR capturar variações na umidade, ele pode não representar os valores reais com precisão em todas as situações. conforme observado nos gráficos anteriores, tanto da estufa quanto do TDR, fatores como características do solo e o uso da terra desempenham um papel relevante nesses resultados. Dessa forma, o TDR deve ser utilizado com cautela, servindo mais como uma estimativa aproximada do que como um dado definitivo.

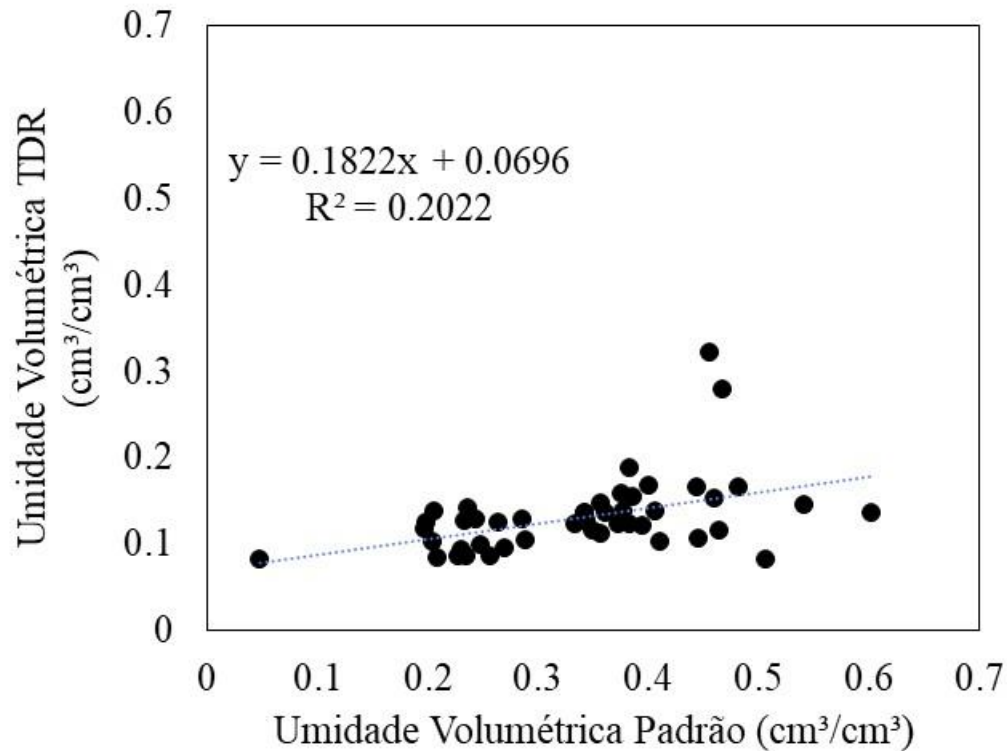


Figura 7. Gráfico de dispersão.

A análise dos dados de umidade do solo obtidos por meio da estufa e da sonda TDR (Figura 8) revelou variações entre os métodos. A estufa (Figura 9) registrou níveis de umidade mais amplos, atingindo valores próximos a 60%, enquanto a TDR apresentou leituras mais restritas, limitando-se a cerca de 25%. Essa disparidade sugere que a estufa é mais eficaz na captura das variações reais na perda de água do solo, enquanto a TDR tende a apresentar medições mais suavizadas.

Entre os pontos avaliados, o PM 6 se destacou por apresentar índices médios de umidade superiores, provavelmente devido às características do solo e da vegetação presentes na área, que favorecem maior retenção hídrica. Entretanto, fatores como compactação do solo, uso da terra e propriedades específicas do terreno também podem estar contribuindo, o que impede conclusões definitivas.

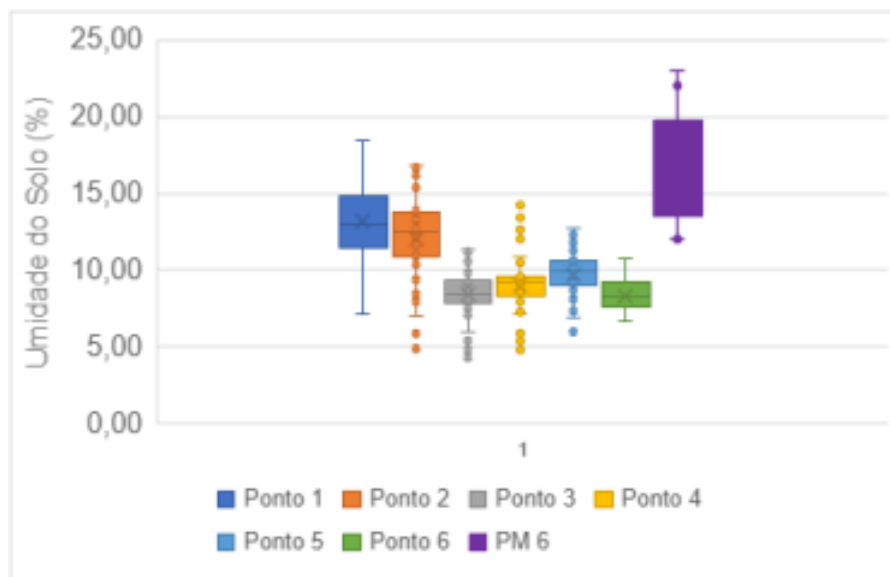


Figura 8 Dado de umidade do solo obtido pelo sensor TDR na FUP (Pontos 1 a 6) e na FAL (PM6). Fonte: Própria

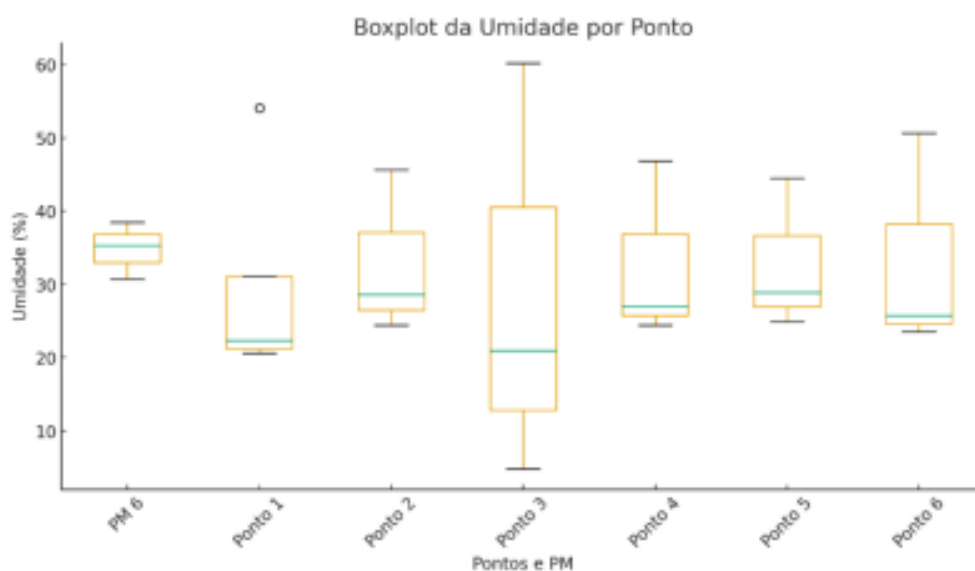


Figura 9 Umidade padrão determinada na estufa a partir das amostras coletadas na FUP (pontos 1 a 6) e na FAL (PM6).

#### 4.2. Análise da cobertura do solo

O mapa de uso e cobertura do solo (Figura 11) na Fazenda Água Limpa (FAL), elaborado a partir das imagens do Sentinel-2 de agosto de 2025, demonstrou a disposição espacial das principais categorias de vegetação e atividades antrópicas na região da bacia do Ribeirão do Gama. Observa-se uma predominância de formações savânicas e campestres, que se manifestam em diversos matizes de verde e marrom, ressaltando a diversidade típica do Cerrado ainda conservado.

Áreas com vegetação florestal revelam-se mais agrupadas em terrenos ligeiramente ondulados, enquanto as zonas classificadas como urbanas e agrícolas apresentam uma distribuição fragmentada decorrente das áreas de pesquisa na fazenda, especialmente nas imediações das vias internas e em torno da propriedade. Adicionalmente, extensões de solo exposto e pequenos corpos d'água foram identificados, indicando regiões de manejo, preparação do solo e a presença de barramentos.

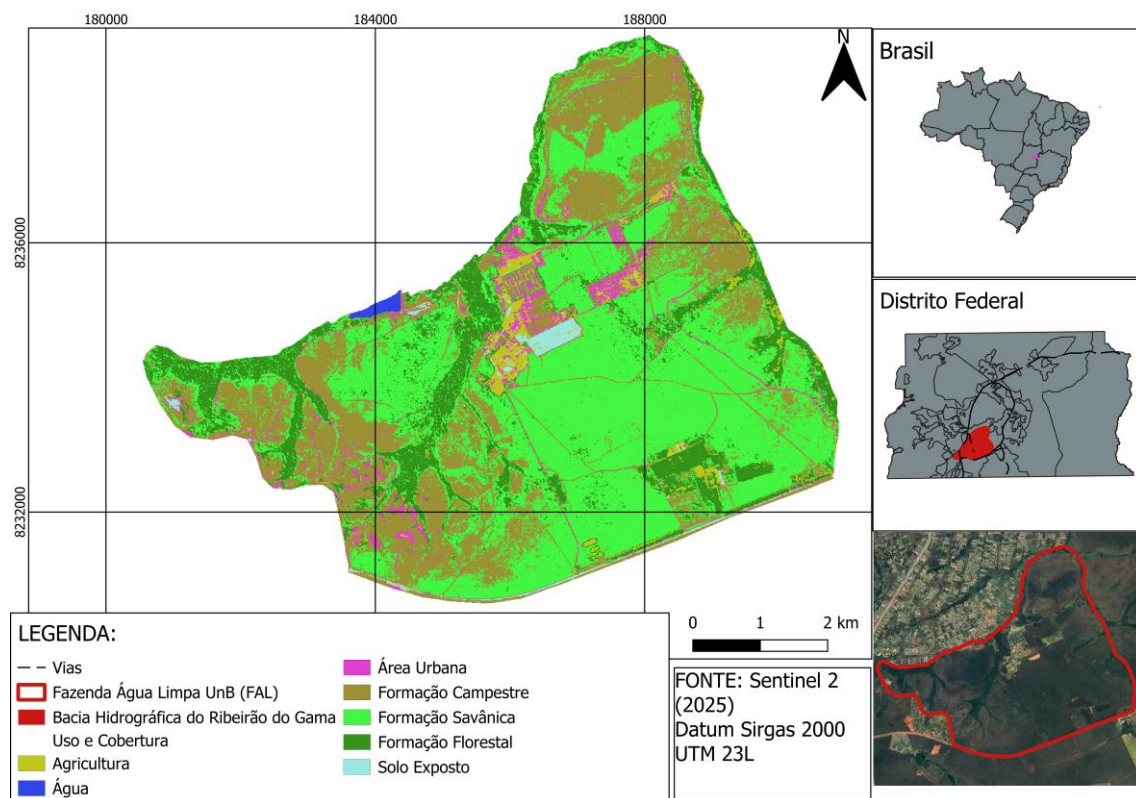


Figura 11. Mapa de uso e cobertura do solo. Fonte: QGIS, autoria própria

O mapa de NDVI (Figura 12) exemplifica a variação da condição da vegetação na Fazenda Água Limpa para agosto de 2025, empregando uma escala de cores contínua para evidenciar a condição espectral da cobertura vegetal obtida a partir das bandas do Sentinel-2. As áreas que apresentam valores elevados de NDVI, representadas em tonalidades de verde, refletem uma vegetação mais densa e saudável, predominantemente situada ao longo dos vales e nas regiões de maior umidade do solo. Em contrapartida, os tons de vermelho e laranja indicam valores mais baixos, associados a solo exposto, terrenos agrícolas em preparação ou vegetação mais escassa, sinalizando áreas com maior impacto antrópico ou variações sazonais.

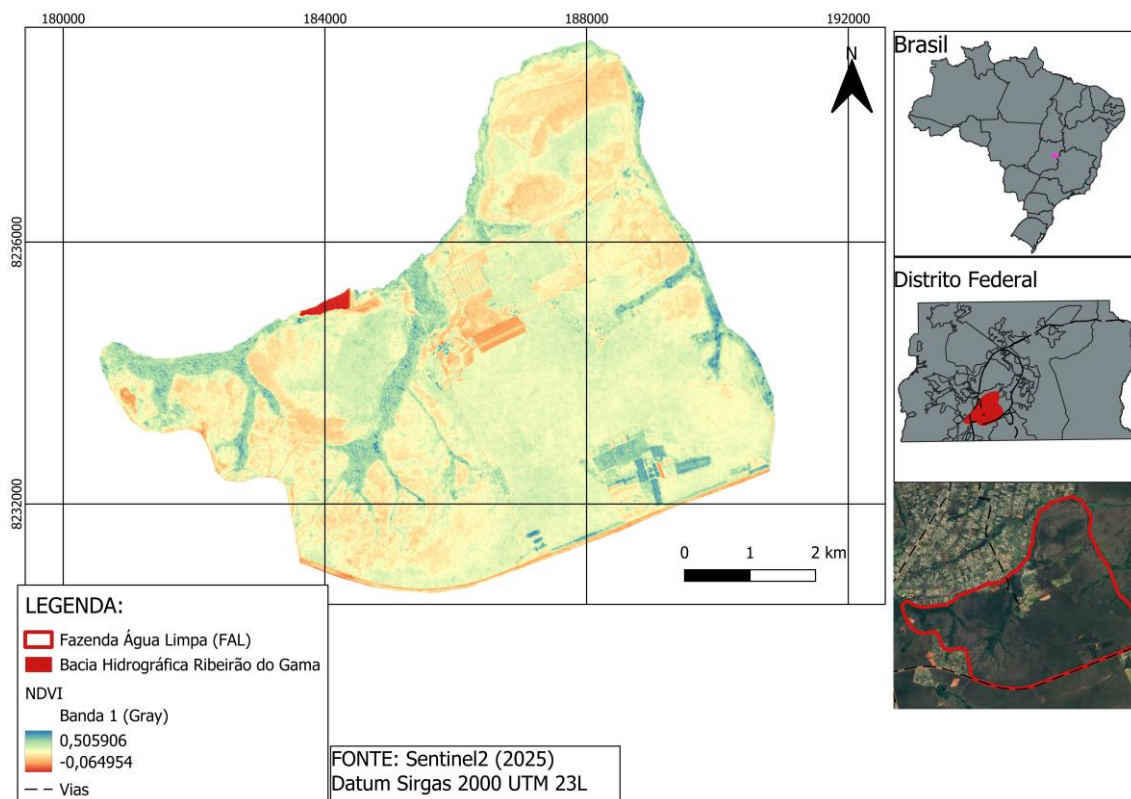


Figura 12. Mapa de NDVI. Fonte: QGIS, autoria própria

Para Ponzoni et al., (2015) os índices de vegetação, como o NDVI, refletem a disposição e o estado da vegetação, permitindo a distinção entre zonas florestais e áreas agrícolas, uma vez que estes apresentam padrões espectrais diversos ao longo do tempo. Neste caso, bem como no presente estudo, a formação florestal do Cerrado exibiu valores de NDVI elevados ( $0,66 \pm 0,08$ ) em relação a pastagem ( $0,21 \pm 0,04$ ) durante a estação seca. Como a reflectância da água no infravermelho próximo é reduzida em comparação com a reflectância na faixa do visível, o NDVI nessa área apresentou valores reduzidos.

O mapeamento de uso e cobertura do solo (Figura 13) na Faculdade UnB Planaltina, elaborado com dados do Sentinel-2 também para o mês de agosto de 2025, evidencia a predominância de formações savânicas, assinaladas em verde, que se estendem por quase toda a área analisada. Na região sul, identificam-se áreas urbanas, tanto contínuas quanto fragmentadas, destacadas em rosa, que correspondem às instalações da FUP e às edificações adjacentes. Isso demonstra a transição entre a vegetação nativa e o processo de urbanização. Ademais, o mapa de localização e a imagem aérea facilitam a visualização da inserção territorial da região, permitindo perceber o contraste entre a cobertura savânica preservada e os segmentos urbanizados ao sul, refletindo padrões de uso associados a desenvolvidas na FUP.

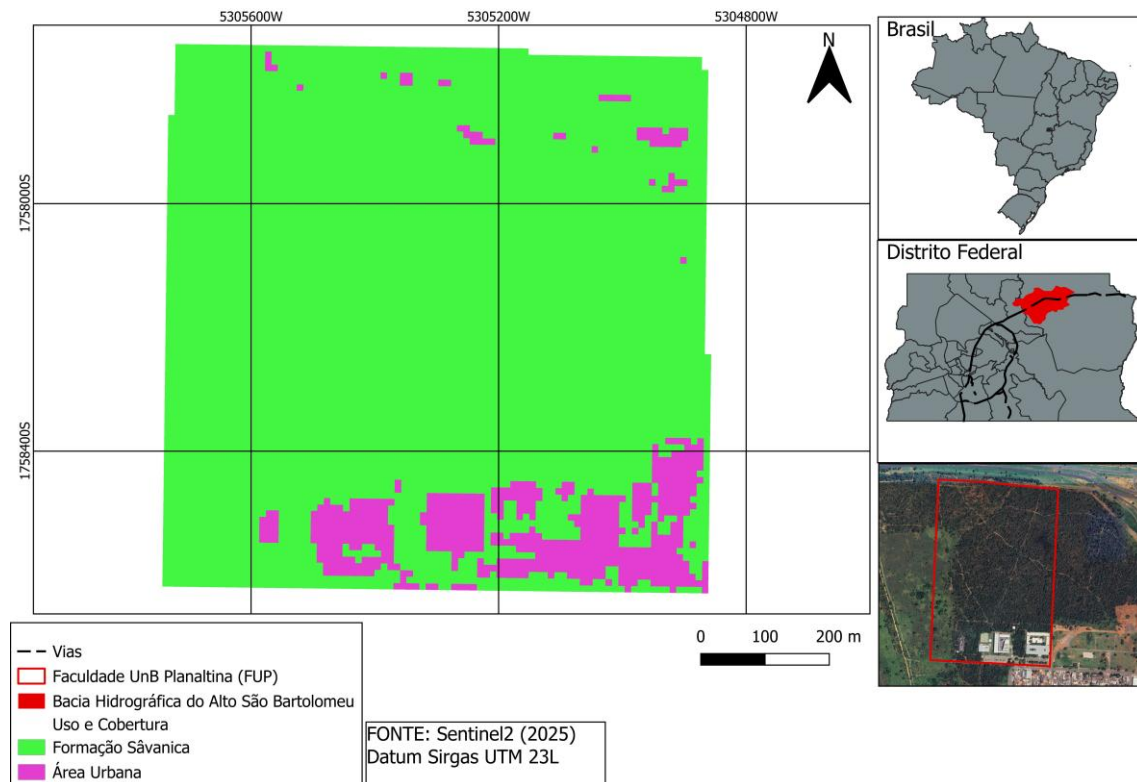


Figura 13. Mapa de uso e cobertura do solo. Fonte: QGIS, autoria própria

O mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (figura 14) da FUP, desenvolvido a partir de imagens do Sentinel-2 referentes ao mês de agosto de 2025, indicou valores mais elevados de NDVI, ilustrados por matizes esverdeadas, predominantemente situadas na área central, onde a vegetação se apresenta de maneira mais densa e homogênea. Em contrapartida, as bordas superiores, laterais e, em especial, a parte inferior do mapa demonstram diversas tonalidades de laranja e vermelho, que indicam valores mais baixos do índice, associados a locais com solo exposto, vegetação em degradação ou áreas urbanizadas. Pequenos pontos azuis, que representam valores ainda mais baixos, sinalizam superfícies artificiais ou a ausência de vegetação significativa, vinculadas às edificações da FUP.

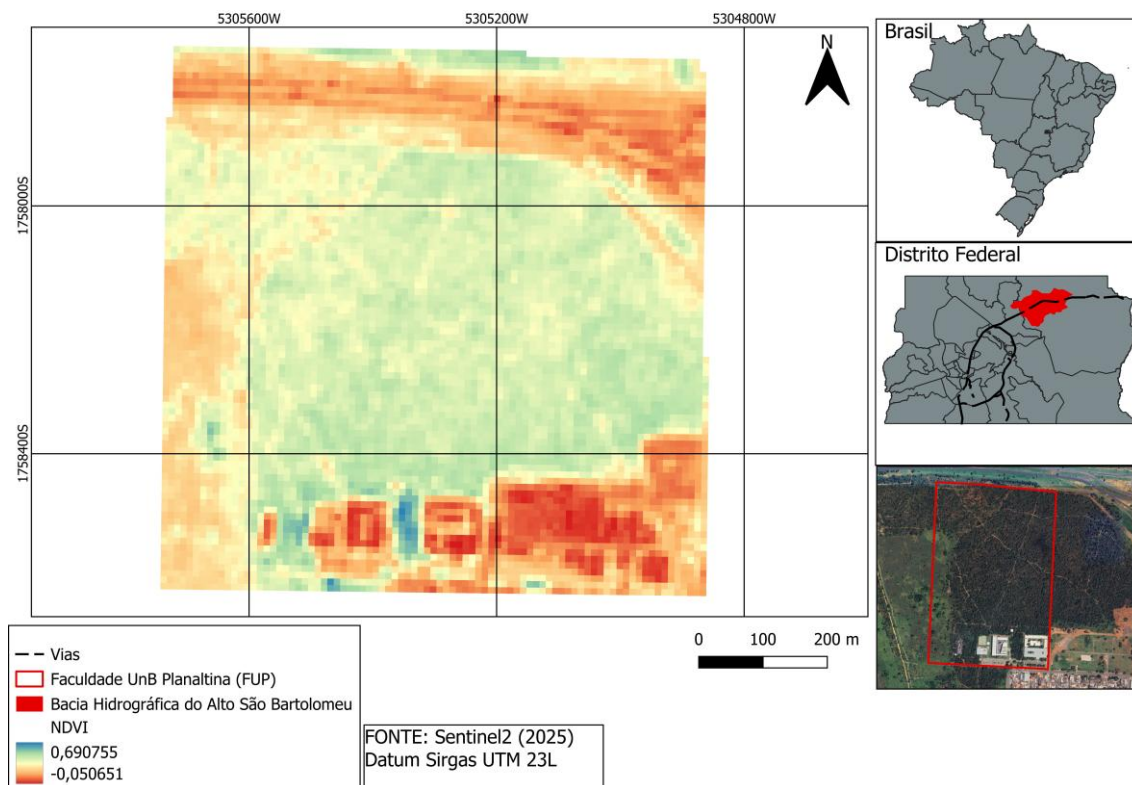


Figura 14. Mapa de NDVI Fonte: QGIS, autoria própria

Com base no NDVI, tanto para a área da FAL quanto para a área da FUP, avalia-se que, provavelmente, as regiões com maior concentração de umidade do solo estão nas áreas representadas por tonalidades verdes e azuladas, essas localidades mostram um aumento na atividade fotossintética e, conseqüentemente, associada à maior disponibilidade de umidade. Em contraposição, as áreas com colorações amareladas, alaranjadas e avermelhadas estão associadas às regiões mais áridas, onde o solo permanece exposto e a vegetação é escassa ou estressada pela baixa disponibilidade de água. Os valores mais baixos de NDVI indicam uma cobertura vegetal ativa reduzida e sugerem uma umidade do solo inferior, seja por processos naturais, manejo humano ou por condições climáticas mais secas. Comparações futuras entre os valores de umidade do solo e de NDVI deverão ser estabelecidas para explorar essa relação nas áreas avaliadas.

### 4.3. Caracterização geolétrica do stemflow

Os modelos geolétricos representativos do caule do pequizeiro apresentaram valores de  $\rho$  entre 0 e 300 Ohm.m (Figura 3). As áreas associadas às anomalias condutivas ( $\rho$  inferior à 100 Ohm.m) foram observadas predominantemente no interior do caule,

indicadas pela coloração amarela no modelo geoeletricos. Tais regiões podem estar associadas ao armazenamento de água no interior do tronco. Para o método de resistividade elétrica os segmentos são coerentes de forma esperada, com padrões mais elevados conforme mais próximo da casca externa, que é mais seco e valores mais baixos em direção ao cerne da árvore, provavelmente proveniente do fluxo de seiva (Santos et al., 2025).

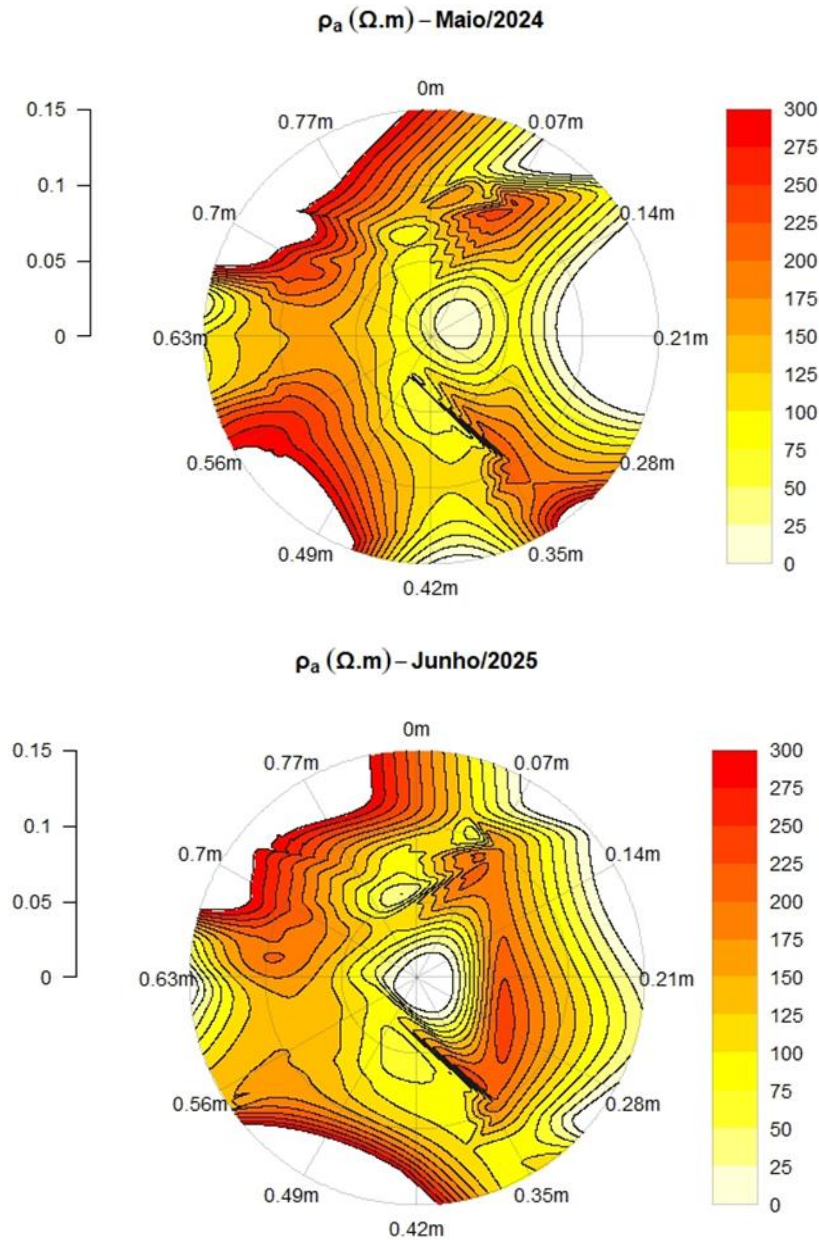


Figura 3. Modelos geoeletricos para o tronco do pequiizeiro.

Dada a irregularidade do tronco, a área avaliada não equivale a um círculo perfeito, havendo áreas em branco na porção externa dos modelos apresentados na Figura 3, para as quais não houve medição de  $\rho$ . Área branca na porção central dos modelos indique que não houve medição no interior do caule devido à limitação do arranjo adotado que não possibilitou monitorar profundidades teóricas superiores à 0,12 m.

A seção transversal ao caule do pequizeiro indicou uma distribuição heterogênea de resistividade. As seções ao centro e periféricas apresenta zonas com diferentes níveis de condutividade, percebe-se um acúmulo de resistividade mais alta ( $>200 \text{ Ohm.m}$ ) na parte mais externa, superior e inferior, à esquerda do tronco, provavelmente relacionado com a casca, onde regiões com baixa resistividade pode indicar acúmulo de água e/ou estrutura do caule menos condutiva.

Adicionalmente, é provável que áreas mais resistivas no entorno do caule sejam indicativas de espaços vazios, preenchidos com ar, que poderão conduzir stemflow durante eventos de chuva. Ambos os levantamentos ocorreram na estação seca (maio/2024 e junho/2025) no mesmo indivíduo, seguindo as mesmas configurações para aquisição de dados, com a finalidade de verificar a possibilidade de coleta de dados geoeletricos no tronco de árvores típicas do Cerrado. Nesse sentido, a comparação entre os modelos não reflete variações de resistividade elétrica do caule que podem estar associadas às alterações sazonais de disponibilidade de água.

O experimento preliminar deve-se ser continuado para incluir a coleta de dados em diferentes condições de umidade do solo e sob efeito da precipitação. Principalmente, com o intuito de possibilitar a adequação do método à identificação de caminhos preferenciais indicativos da ocorrência de stemflow.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo alcançou o objetivo ao contribuir como o monitoramento e a organização de dados hidrológicos, combinado a avaliações preliminares por meio métodos indiretos (TDR, sensoriamento remoto e método elétrico de corrente contínua), como foco na avaliação da umidade do solo e do stemflow.

A análise comparativa entre as técnicas de medição revelou que, embora a sonda TDR seja prática, o método em estufa proporciona maior abrangência, enfatizando a necessidade de integrar diferentes abordagens para garantir a precisão das informações coletadas. Os resultados sugerem que a sonda TDR é útil para identificar variações gerais na umidade do solo, mas apresenta limitações quando comparada ao método padrão da estufa. Como recomendação, é ideal que ambos os métodos sejam utilizados de maneira complementar para obter resultados mais robustos.

O presente estudo apresentou uma avaliação preliminar do uso da geofísica aplicada, por meio do método elétrico de corrente contínua, como ferramenta de monitoramento de fluxo d'água no interior das árvores, usando um pequizeiro (*Caryocar brasiliense*) como estudo de caso. Os resultados alcançados demonstraram variação na resistividade elétrica ao longo do tronco, possivelmente associada à disponibilidade de água. O emprego do método é uma alternativa promissora por ser não destrutiva e capaz de apresentar informações relevantes. Recomenda-se o prosseguimento da pesquisa, monitorando em épocas diferentes do ano, com o interesse de aprofundar a compreensão sobre a aplicação do método na caracterização do fluxo de água no caule (*stemflow*).

De maneira integrada, os resultados obtidos nas duas áreas de pesquisa, FAL e FUP, ressaltam a importância da convergência entre dados de campo, sensoriamento remoto e métodos de pesquisa indiretos para compreender a ecohidrologia do Cerrado. As análises acerca do uso e cobertura do solo, em conjunto com o NDVI, evidenciam como distintas formações vegetais podem influenciar a distribuição espacial da umidade, um fator primordial para o funcionamento hidrológico do bioma. Recomenda-se a continuidade do estudo para aprimorar a calibração do sensor TDR em comparação com dados de umidade gravimétrica, avaliar a relação sazonal entre os dados de sensoriamento remoto e as medidas de umidade do solo obtidas em campo e prosseguir com a abordagem geofísica aplicado ao estudo dos processos e estoques hidrológicos associados à vegetação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Diretrizes para elaboração do projeto de instalação de estações hidrológicas**. Brasília: ANA, 2023.
- Akima H, Gebhardt A (2025). akima: **Interpolation of Irregularly and Regularly Spaced Data**. R package version 0.6-3.6, <https://CRAN.R-project.org/package=akima>.
- ALMEIDA, Andréia de. **Monitoramento e modelagem de processos hidrológicos subsuperficiais e evapotranspiração em bacia de Cerrado**. 2023.
- ANDRADE, Luís Claudio Lopes. **Abordagem de monitoramento hidrológico participativo nas UGRHIs 20 e 21 em pequenos núcleos rurais no município de Parapuã – SP**. 2023.
- ANTONELI, Valdemir et al. **Fluxo pelo caule e queda em culturas agrícolas: uma síntese**. Revista Ambiente & Água, v. 1, pág. e2528, 2021.
- ARCOVA, Francisco Carlos Soriano; CICCIO, Valdir de; ROCHA, Paulo Augusto Bueno. **Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha-São Paulo**. Revista Árvore, v. 27, p. 257-262, 2003.
- ARRUDA, T. I. M.; NOVAES, C. D.; DUARTE, R. S. S.; FACHIN, S. J. S. **Caracterização de área de nascente aterrada no perímetro urbano de Cuiabá – MT: o uso da resistividade 2D**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Geofísica, 18–20 set. 2018, Salinópolis. Anais [...]. Salinópolis: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2018.
- BAI, L. et al. **Groundwater flow monitoring using time-lapse electrical resistivity and Self Potential data**. *Journal of Applied Geophysics*, v. 193, p. 104411, 2021.
- BRAGA, A. C. O. **Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 159 p.
- BRANDÃO, C. C. S. **I-370 – Influência da utilização de diferentes misturas de mananciais no tratamento de água por flotação por ar dissolvido – avaliação em escala de bancada**. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- BUSKE, Taise Cristine et al. **Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento**. *Irriga*, v. 19, n. 2, p. 315–324, 2014.

- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Plano de Segurança da Água – Abastecimento do Distrito Federal**. Brasília: CAESB, 2020.
- CAETANO, Jordana Moura; CASAROLI, Derblai. **Tendências dos modelos hidrológicos integrados aos sistemas de informações geográficas a partir da cienciometria**. *Communicata Scientiae*, v. 7, n. 3, p. 406–414, 2016.
- DA, PANORAMA et al. **XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**, 2021.
- DA PAZ, PANORAMA et al. **XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- DE VILLA, Bruna et al. **Balço hídrico climatológico: uma revisão**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, p. e50211626669, 2022.
- DIVAKARA, BN; CHAITHRA, S. **Tomografia de resistência elétrica (TRE): uma revisão como ferramenta não destrutiva (END) na decifração do interior de árvores em pé**. *Sensing and Imaging*, v. 23, n. 1, p. 18, 2022.
- Dos Santos, RM; Koide, S.; Távora, BE; de Araujo, DL **Recarga de águas subterrâneas no bioma Cerrado, Brasil — Um estudo multimétodo em escala de bacia hidrográfica experimental**. *Water* 2021
- ELLISON, David et al. **Trees, forests and water: Cool insights for a hot world**. *Global environmental change*, v. 43, p. 51-61, 2017.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017.
- FELFILI, M. C.; BRITES, C. R. C. **I-307 – Impactos ambientais sobre a margem direita do Lago Descoberto e sua influência sobre o Índice de Qualidade da Água – IQA (estudo de caso)**. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- FERREIRA, Fernanda Laurinda Valadares; RODRIGUES, Lineu Neiva; DA SILVA, Demetrius David. **Influência das mudanças no uso e cobertura do solo e na precipitação sobre o regime de vazão de uma bacia hidrográfica localizada na região de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado, no Brasil**. *Monitoramento e Avaliação Ambiental*, v. 193, n. 1, p. 16, 2021.
- GANTHALER, A.; SAILER, J.; BÄR, A.; LOSSO, A.; MAYR, S. **Noninvasive analysis of tree stems by electrical resistivity tomography: unraveling the effects of temperature, water status, and electrode installation**. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, e1455, 2019.

- GUTIERRES, Monica Isabelli; NEVES, Eletisanda. **A importância do monitoramento da umidade do solo através de sensores para otimizar a irrigação nas culturas.** *Enciclopédia Biosfera*, v. 18, n. 35, 2021.
- HEAD, Brian W. Water policy—Evidence, learning and the governance of uncertainty. *Policy and Society*, v. 29, n. 2, p. 171-180, 2010.
- Huang,Z; Zhang, T.; Heng, W.; Shi, B.; Zhou, S. **Real-Time Intermediate Flow Estimation for Video Frame Interpolation.** RCran, 2022.
- LEVIA, Delphis F.; GERMER, Sonja. **Uma revisão da dinâmica de geração de escoamento pelo tronco e das interações entre escoamento pelo tronco e o ambiente em florestas e matagais.** *Reviews of Geophysics*, v. 53, n. 3, p. 673–714, 2015.
- LOKE, MH; BARKER, RD. **Deconvolução por mínimos quadrados de pseudoseções de resistividade aparente.** *Geophysics* , v. 60, n. 6, p. 1682-1690, 1995.
- LOKE, Meng Heng; BARKER, Ron D. **Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method1.** *Geophysical prospecting*, v. 44, n. 1, p. 131-152, 1996.
- MAFFRA, Cristina de Queiroz Telles; CENTENO, J. A. S. **Estimativa da umidade do solo por meio de sensoriamento remoto e suas possíveis aplicações no estudo de deslizamentos de terra.** *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, p. 1709–1719, 2016.
- MIRALLES-WILHELM, Fernando et al. **Temas emergentes e direções futuras na pesquisa sobre resiliência de bacias hidrográficas.** *Water Security* , v. 18, p. 100132, 2023.
- NASCIMENTO, C. T. C.; KOIDE, S.; PIRES, A. C. B. **Análise geofísica por meio de resistividade elétrica do espalhamento de efluente de fossa séptica no subsolo.** In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 12., 1997. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 1997.
- NASCIMENTO, Carlos Tadeu Carvalho; PIRES, Augusto Cesar Bitfencourt; MORAES, Roberto Alexandre Vitória de. **Reconhecimento de solos por meio de resistividade elétrica e radiação gama.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, p. 383, 2004.
- PARKER, GG. **Precipitação direta e escoamento pelo tronco no ciclo de nutrientes da floresta.** *Advances in ecological research* , v. 13, p. 57-133, 1983.

- PEREIRA, Marco Alésio Figueiredo; BARBIEIRO, Bruno Lippo; QUEVEDO, Daniela Muller de. **Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos.** *Sociedade & Natureza*, v. 32, p. 292–303, 2020.
- PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto da vegetação.** Oficina de textos, 2015.
- RYAZANTSEV, P. A.; BAKHMET, O. N. **Application of Geoelectric Methods for Mapping Soil Heterogeneity.** *Eurasian Soil Science*, v. 53, p. 558–568, 2020.
- SENA-SOUZA, João Paulo et al. **Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do ribeirão Mestre d’Armas, Distrito Federal.** *Revista Espaço e Geografia*, v. 17, n. 1, p. 71-95, 2014.
- SIQUEIRA NETO, A. C. et al. **Método da Eletrorresistividade aplicado à variação temporal do nível freático do aquífero Alter do Chão, em Santarém, Pará.** *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 9, n. 1, p. 88–104, 2023.
- SOUZA PINTO, Nelson L. de et al. **Hidrologia básica.** Edgard Blücher, São Paulo, 1976.
- TELLES, Dirceu D. **Ciclo Ambiental da Água.** São Paulo: Blucher, 2012. E-book. p. 33. ISBN 9788521206958.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics.** Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- TONELLO, Kelly Cristina et al. **Variabilidade do escoamento pelo tronco em relação às características do tronco e da copa das árvores no Cerrado brasileiro.** *Meteorologia Agrícola e Florestal*, v. 308, p. 108551, 2021.
- VANELLA, D. et al. **Uso da tomografia de resistividade elétrica em pequena escala para identificar interações solo-raiz durante a irrigação deficitária.** *Journal of Hydrology*, v. 556, p. 310-324, 2018.