

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA PARA AVALIAÇÃO DE FLUXO INTERNO DE ÁGUA NO CAULE DE ÁRVORES (*STEMFLOW*): ESTUDO DE CASO EM PEQUIZEIRO (*Caryocar brasiliense*)**

*João Vitor Dias Cerqueira<sup>1</sup>; Samuel Erick Barbosa Vitorino<sup>2</sup>; Pedro Henrique Alves de Oliveira<sup>3</sup> & Andreia de Almeida<sup>4</sup>*

**Abstract:** Part of the precipitation intercepted by vegetation can be redistributed through the stem until it reaches the soil. This is the hydrological process of stemflow, which, despite representing a small portion of the hydrological cycle, plays an important role in maintaining soil moisture. Considering the importance and difficulty of quantifying stemflow, the present study aimed to present a preliminary assessment of the geoelectric characterization of the stem of a pequi tree located on the campus of Faculdade UnB Planaltina as a monitoring strategy. Considering that electrical resistivity ( $\rho$ ) varies inversely with the humidity of the medium, it was assumed that conductive anomalies inside the trunk may indicate preferred paths for water flow. The geophysical survey was carried out using the direct current electrical method, with the electrical walking technique and Wenner array, placing electrodes every 0.06 m on a portion of the trunk at a height of 1.4 m with a circumference of 0.85 m. After processing the data, geoelectric models representative of the stem were obtained for the periods of May 2024 and June 2025, with  $\rho$  values between 0 and 300 Ohm.m. Conductive zones were observed inside the stem, in contrast to the ends, which indicated  $\rho$  greater than 200 Ohm.m. It is likely that more resistive areas around the stem are indicative of empty spaces filled with air, which may conduct stemflow during rainfall events. It is recommended that the study be continued to incorporate the effect of seasonality in geoelectric characterization as a tool for assessing stemflow.

**Resumo:** Parte da precipitação interceptada pela vegetação pode ser redistribuída através do caule até atingir o solo. Trata-se do processo hidrológico de fluxo interno ao caule (stemflow), apesar de representar uma parcela reduzida do ciclo hidrológico, possui papel importante para manutenção da umidade do solo. Considerando a importância e dificuldade de quantificação do stemflow, o presente estudo teve como objetivo apresentar uma avaliação preliminar da caracterização geoelétrica do caule

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), jvd.cerqueira@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), samuel\_erick@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), opedrohe3@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), andreia.almeida@unb.br

de um pequizeiro, localizado no campus da Faculdade UnB Planaltina, como estratégia de monitoramento. Considerando que a resistividade elétrica ( $\rho$ ) varia de forma inversa em função da umidade do meio, considerou-se o pressuposto de que anomalias condutivas no interior do tronco podem indicar caminhos preferencias para o fluxo da água. O levantamento geofísico foi realizado pelo método elétrico de corrente contínua, com a técnica de caminhamento elétrico e arranjo de Wenner, dispondo eletrodos a cada 0.06m em uma porção do caule a 1.4m de altura com 0.85m de circunferência. Após o processamento dos dados, obtiveram-se modelos geoeletricos representativos do caule para os períodos de maio/2024 e junho/2025, com valores de  $\rho$  entre 0 e 300 Ohm.m. Zonas condutivas foram observadas no interior do caule, em contraponto com as extremidades que indicaram  $\rho$  superior à 200 Ohm.m. 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. Recomenda-se continuidade do estudo para incorporar o efeito da sazonalidade na caracterização geoeletrica como ferramenta de avaliação do stemflow.

**Palavras-Chave** – Ecohidrologia, método elétrico de corrente contínua, ensaio não destrutivo.

## 1. INTRODUÇÃO

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, 2003). No entanto, esse percentual varia amplamente em função das características climáticas e de estrutura da vegetação (Antoneli et al., 2020). Tonello et al. (2021), verificaram que cerca de 2,5% da precipitação foi convertida em fluxo interno ao 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 (Rodrigo 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).

No entanto, estudos direcionados à caracterização e quantificação do *stemflow* 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. 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 (Santos et al., 2025; Divakara e Chaithra, 2022).

De forma mais específica, o método geofísico elétrico de corrente contínua, que tem como parâmetro de interesse a resistividade elétrica ( $\rho$ ) representa uma ferramenta alternativa possível para a avaliação da umidade no caule das árvores (Ganthalher 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 (Daily et al., 2005; Vanella et al., 2018). O estudo de Ganthalher et al., (2019) demonstrou que baixos índices de resistividade elétrica 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.

Nessa perspectiva, o presente estudo teve como propósito verificar a aplicação do método geofísico elétrico de corrente contínua para a caracterização da estrutura do tronco das árvores, com reflexos na avaliação do fluxo interno de água (*stemflow*). O pressuposto do trabalho é de que anomalias condutivas no interior do tronco podem indicar caminhos preferencias para o fluxo da água, contribuindo para a avaliação quali-quantitativa dos processos do ciclo hidrológico associados à vegetação nativa do Cerrado.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

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 pequizeiro (*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.

### **2.2 Metodologia**

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 geoeletrica bidimensional vertical

em diferentes profundidades teóricas de investigação. Neste caso, a seção geoeétrica resultante apresentou formato circular ao tronco do pequizeiro. 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 2) (Figura 2).

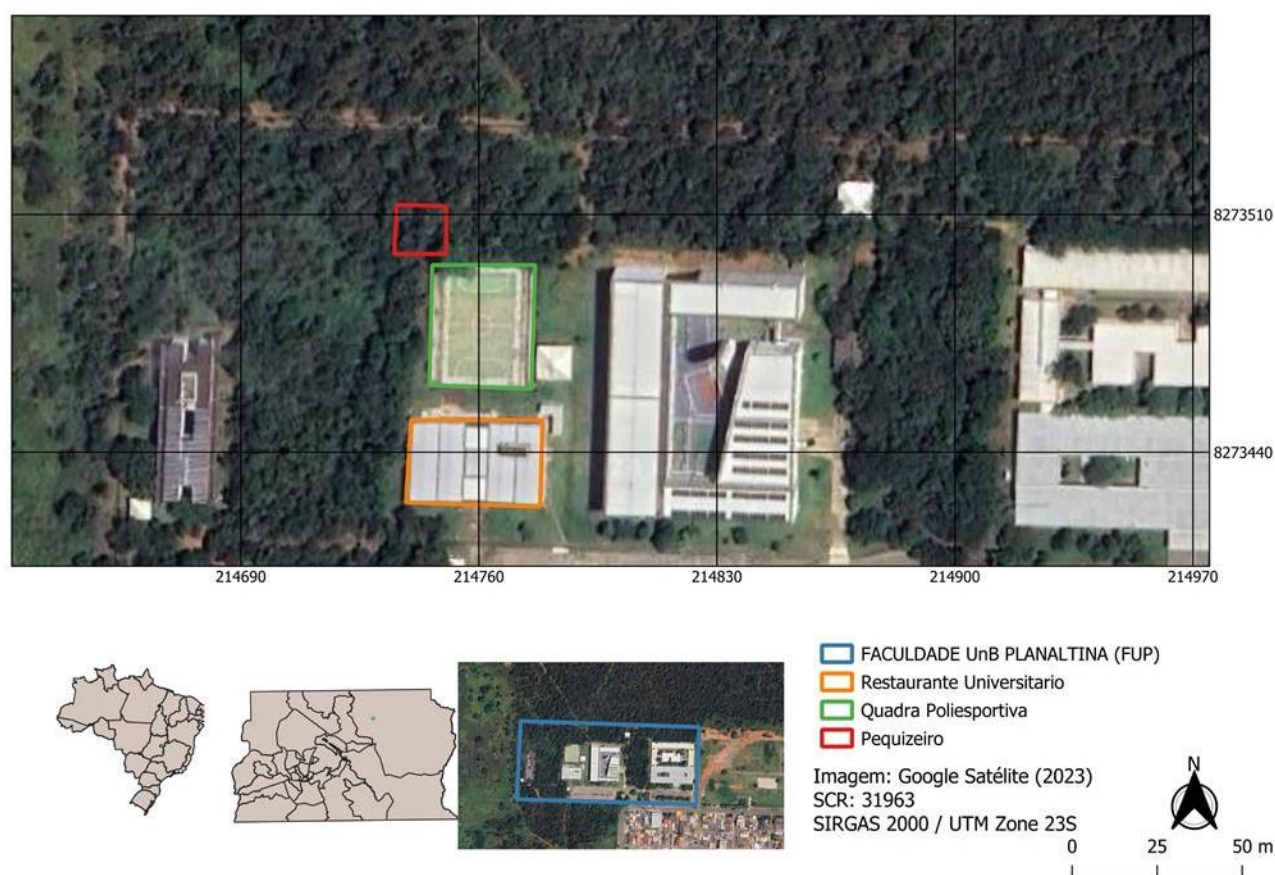


Figura 1. Mapa da localização da área de estudo.

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 geoeétricos 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* (Riffe, 2025).



Figura 2. Aquisição de dados em campo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos geoeletricos 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).

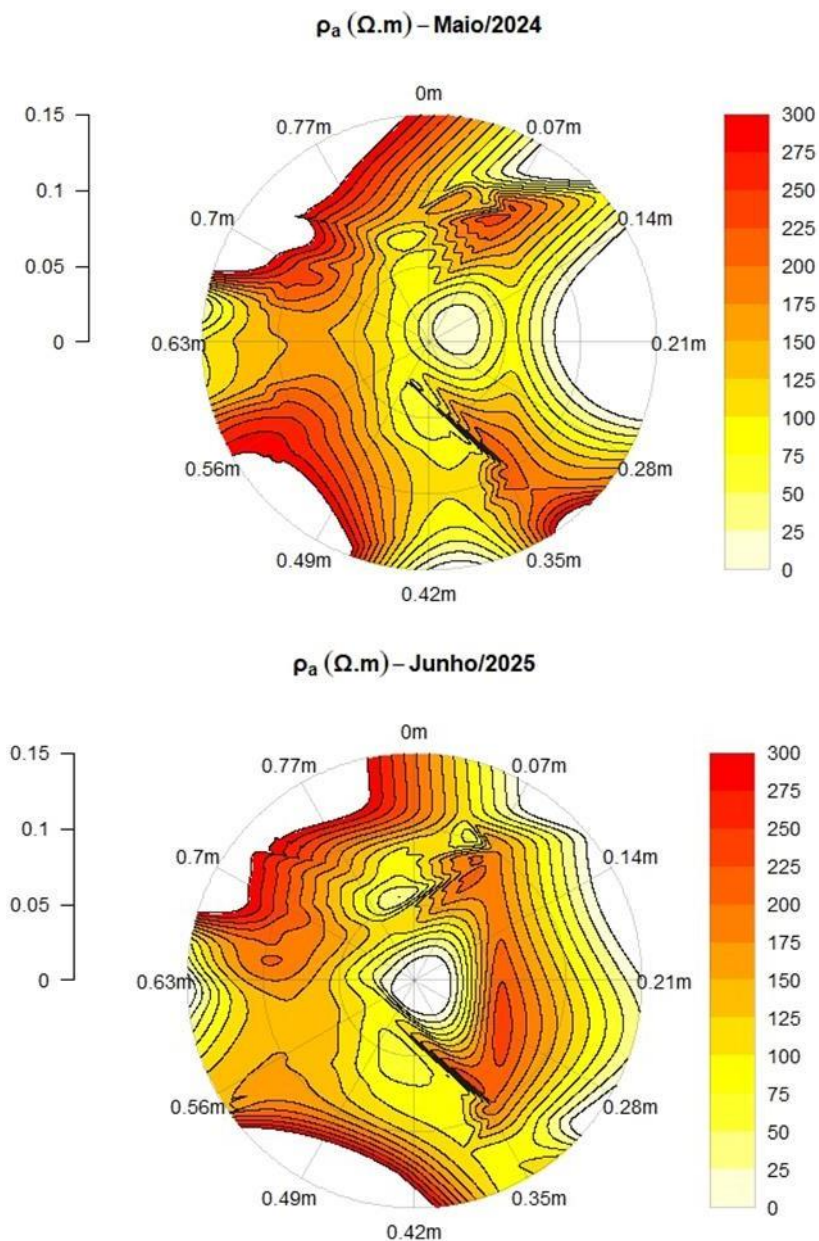


Figura 3. Modelos geoeletricos para o tronco do pequizeiro.

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 será 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.

#### **4. CONCLUSÃO**

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 interno ao caule (stemflow).

#### **AGRADECIMENTOS**

Ao Laboratório de Geologia Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, por disponibilizar o equipamento para o levantamento geofísico.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Akima, H.; Gebhardt, A.; Petzold, T.; Maechler, M. 2025. *Package 'akima': Interpolation of Irregularly and Regularly Spaced Data*. Cran-R.



- Antoneli, V.; Jesus, F.C.; Bednarz, J.A.; Thomas, E.L. Stemflow and throughfall in agricultural crops: a synthesis. *Rev. Ambient. Água* vol. 16 n. 1, e2528 - Taubaté 2021
- Daily, W., Ramirez, A., Binley, A., and LeBrecque, D. (2005). Electrical resistance tomography – theory and practice. *Near Surf. Geophys.* 2, 573–598. doi: 10.1190/1.9781560801719.ch17
- Ganthaler, A., Sailer, J., Bär, A., Losso, A., & Mayr, S. (2019). Noninvasive analysis of tree stems by electrical resistivity tomography: unraveling the effects of temperature, water status, and electrode installation. *Frontiers in plant science*, 10, 1455.
- Levia, D. F., & Germer, S. (2015). A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. *Reviews of Geophysics*, 53, 673–714. <https://doi.org/10.1002/2015RG000479>
- Levia, D. F., and E. E. Frost (2003), A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems, *J. Hydrol.*, 274(1–4), 1–29, doi:10.1016/S0022-1694(02)00399-2.
- Loke, M. H.; barker, R. D. 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60: 1682-1690.
- Loke, M. H.; barker, R. D. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-newton method. *Geophysical Prospecting*, 44: 131-152.
- Parker, G. G. (1983). *Throughfall and Stemflow in the Forest Nutrient Cycle. Advances in Ecological Research*, 57–133. doi:10.1016/s0065-2504(08)60108-7
- Riffe, T. 2025. *PolarInterpolatePlot.R*. Disponível em: <https://gist.github.com/timriffe/2893780>. Acesso em: 06 jun. 2025.
- Tonello, K. C., Van Stan, J. T., Rosa, A. G., Balbinot, L., Pereira, L. C., e Bramorski, J. (2021). “Stemflow variability across tree stem and canopy traits in the Brazilian Cerrado”. *Agricultural and Forest Meteorology*, Elsevier B.V., 308–309(July), 108551.
- Vanella, D., Cassiani, G., Busato, L., Boaga, J., Barbagallo, S., Binley, A., et al. 2018. Use of small scale electrical resistivity tomography to identify soil-root interactions during deficit irrigation. *J. Hydrol.* 556, 310–324. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.11.025