

## Projeto Bolsa PIBIC (set.2023-ago.2024)

**Orientador:** Dra. Talita Rosas Ferreira (LNLs)

**Área:** Ciências da Terra

**Sub-área:** Agricultura / Física em escala de poros

**Título do projeto:** Efeitos do biochar e nanopartículas de ZnO em características morfológicas do solo-raiz-rizosfera usando XCT na linha de luz MOGNO

### 2. Introdução e estado da arte

O uso do biochar no solo pode beneficiar diversas de suas propriedades, como pH, capacidade de retenção de água, disponibilidade de nutrientes e agregação<sup>1</sup>. Simultaneamente, sabe-se que a agricultura vem se beneficiando de produtos da nanotecnologia. As propriedades dos nanomateriais podem ser usadas para desenvolver fertilizantes mais eficientes que atuam diretamente no desenvolvimento da planta. Devido à típica deficiência em zinco (Zn), presente em uma grande parte dos solos ao redor do mundo, este micronutriente apresenta baixa absorção natural pelas plantas, cujas funções fisiológicas são substancialmente afetadas. Desta forma, as nanopartículas de ZnO vem sendo reportadas como uma boa estratégia para proporcionar os níveis apropriados deste micronutriente às plantas<sup>2</sup>. Ou seja, as nanopartículas de ZnO apresentam uma solubilidade maior do que as micropartículas e menor do que o Zn na forma de sulfato, sendo o último a solução mais comumente utilizada e que, frequentemente, leva à fitotoxicidade das plantas. Tendo em vista os benefícios reportados sobre a aplicação de biochar no solo e de nanopartículas de ZnO em sementes, folhas, ou raízes de plantas, apresenta-se neste projeto a hipótese de que a associação destes dois fatores pode superar os efeitos isolados de cada um.

A tomografia computadorizada de raios X (XCT) é uma técnica não destrutiva que permite a aquisição de imagens tridimensionais (3D) do interior de materiais diversos, sendo especialmente interessante para caracterizar materiais opacos à luz visível, como o solo<sup>3</sup>. O Sirius, fonte de luz síncrotron de 4ª geração do Brasil, conta atualmente com uma linha de luz de tomografia de raios X de última geração, denominada MOGNO<sup>4</sup>. Esta linha de luz possui capacidades de imageamento muito relevantes para a ciência do solo, como altas energias (proporcionando alto poder de penetração) e alto fluxo de fótons (permitindo aquisição rápida de imagens)<sup>5,6</sup>. A linha de luz MOGNO foi utilizada em uma proposta experimental (20221817) desenvolvida em um projeto do programa de bolsas de verão 2023 do CNPEM, na qual foram adquiridas imagens de XCT de amostras pertencentes a tratamentos isolados e associados de biochar (aplicado ao solo) e nanopartículas de ZnO (aplicadas a sementes de Feijão).

### 2. Objetivos

*Geral:* Investigar os efeitos do solo tratado com biochar e sementes tratadas com nanopartículas de ZnO, isoladamente e de forma associada, no desenvolvimento das raízes de plantas de Feijão.

### *Específicos:*

- 1) Realizar a segmentação das fases de interesse nas imagens de XCT dos diferentes tratamentos, sendo as fases: poros (preenchidos por ar e água), sólidos e raízes.
- 2) Quantificar, via processamento de imagem, um conjunto de parâmetros morfológicos das raízes para os diferentes tratamentos, podendo incluir: volume, comprimento, mapa tridimensional de diâmetros, tortuosidade, número de ramificações, entre outros.
- 3) Desenvolver estudos laboratoriais de crescimento de raízes complementares conforme a necessidade para auxiliar na interpretação dos dados
- 4) Comparar os resultados entre tratamentos e formalizar as observações em forma de artigo científico para eventual publicação em revista científica.

### **3. Metodologia**

A Fig. 1a,b exemplifica a montagem experimental para a aquisição das imagens, que ocorreu em fevereiro de 2023. Foram adquiridas 12 imagens 3D, com tamanho de pixel de 3,2  $\mu\text{m}$ , sendo 3 amostras por tratamento. Os tratamentos foram: 1) controle, 2) solo tratado com biochar residual da hidrólise enzimática (B), 3) sementes de feijão tratadas com nanopartículas de ZnO e 4) associação entre os dois últimos.

No presente projeto, o(a) bolsista realizará a segmentação das 12 imagens geradas, buscando a identificação das fases: raiz, sólidos e poros, conforme ilustrado na Fig. 1c. Para isso, o(a) bolsista será capacitado por meio de cursos de processamento de imagens 3D utilizando computadores de alta performance disponibilizados pelo CNPEM/LNLS, bem como softwares apropriados, como o Avizo e Annotat3D. Em particular, serão utilizadas estratégias de segmentação baseadas em aprendizado de máquina, implementadas no software Annotat3D, que se trata de um desenvolvimento interno do CNPEM/LNLS<sup>7</sup>. Com as imagens segmentadas, serão realizadas análises quantitativas básicas de todas as fases e análises mais avançadas para caracterização morfológica das raízes.

O(a) bolsista PIBIC trabalhará de forma integrada com a ex-bolsista do Programa de Bolsas de Verão e com alunos(as) da Ilum. Haverá oportunidade de participar de novos experimentos relacionados à agricultura na linha de luz MOGNO, bem como de participar em eventos científicos internos oferecidos pelo CNPEM.

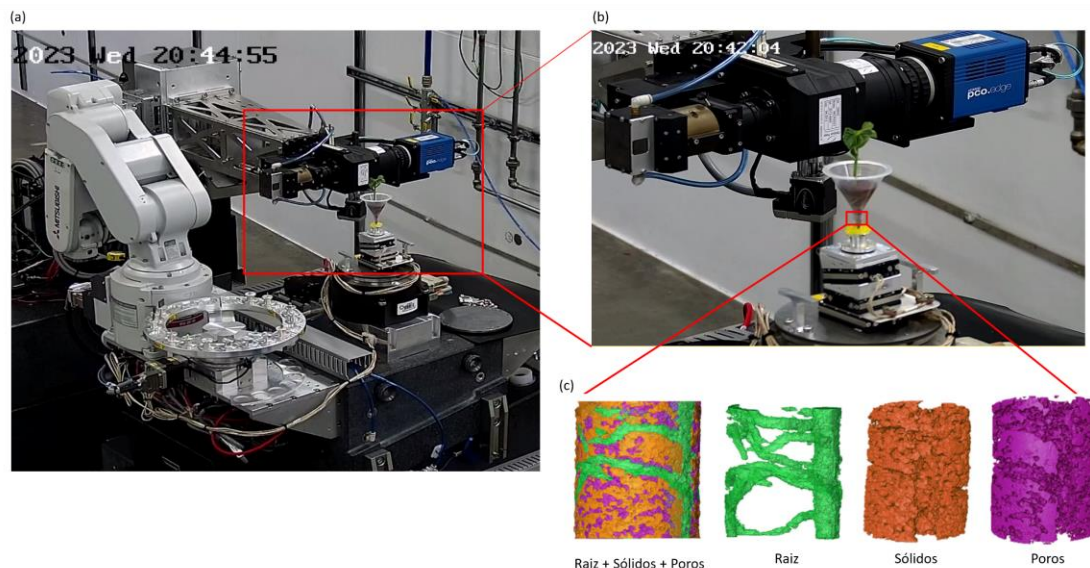


Figura 1. (a) Montagem experimental para aquisição de imagens de XCT de raízes de feijão crescendo em solo (*in vivo*). A planta cresceu em um funil e a imagem foi adquirida em sua (b) região cilíndrica, cujo tamanho era compatível com o campo de visão da medida (~6mm). (c) Fases da região escaneada após segmentação de uma das imagens de XCT. Cortesia de Maria Clara R. dos Santos, Programa de Bolsas de Verão 2023.

## 5. Referências

1. Lehmann, J., Kuzyakov, Y., Pan, G. & Ok, Y. S. Biochars and the plant-soil interface. *Plant Soil* **395**, 1–5 (2015).
2. Da Cruz, T. N. M. *et al.* Shedding light on the mechanisms of absorption and transport of ZnO nanoparticles by plants via *in vivo* X-ray spectroscopy. *Environ. Sci. Nano* **4**, 2367–2376 (2017).
3. Claro, P. I. C. *et al.* From micro- to nano- and time-resolved x-ray computed tomography: Bio-based applications, synchrotron capabilities, and data-driven processing. *Appl. Phys. Rev.* **10**, (2023).
4. Hesterberg, D., Ferreira, T. R., Bordonal, R. de O. & Souza-Filho, L. F. Synchrotron techniques for assessing soil processes and properties related to agricultural challenges in Brazil. in *Tópicos em ciência do solo* (eds. Souza-Filho, L. F., Silva, R. C. da, César, F. R. C. F. & Souza, C. M. M.) 486 (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2022).
5. Ferreira, T. R., Pires, L. F. & Reichardt, K. 4D X-Ray Computed Tomography in Soil Science: an Overview and Future Perspectives at Mogno/Sirius. *Brazilian J. Phys.* 2022 **52**, 1–14 (2022).
6. Moraes, I. C. *et al.* Monte Carlo simulations of synchrotron X-ray dose affecting root growth during *in vivo* tomographic imaging. *Sci. Reports* 2023 **13**, 1–14 (2023).
7. Ferreira, T. R. ., Cássaro, F. A. M. ., Zhou, H. & Pires, L. F. X-ray Computed Tomography Image Processing & Segmentation: A Case Study Applying Machine Learning and Deep Learning-Based Strategies. in *X-ray Imaging of the Soil Porous Architecture* (eds. Mooney, S. J., Young, I. M., Heck, R. J. & Peth, S.) (Springer, 2022). doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-031-12176-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-12176-0_5).