

## Desenvolvimento inicial radicular de diferentes cultivares de soja para eficiência no uso do solo

### Initial root development of different soybean cultivars for soil-use efficiency

Larissa de Lima Alves<sup>1</sup>; Dennis Ricardo Cabral Cruz<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado; Instituto Federal Goiano, Ceres; larissalima@aluno.facmais.edu.br. <sup>2</sup>Professor Doutor do Curso de Graduação em Agronomia; Universidade Estadual de Goiás, Posse; denisribral@gmail.com. \*Autor correspondente.

#### ARTIGO

Recebido: 12-10-2025  
 Aprovado: 02-12-2025

#### Palavras-chave:

Vigor de Plântulas  
 Estratégias adaptativas  
 Morfologia de raízes

#### RESUMO

O desenvolvimento radicular inicial das plântulas de soja determina eficiência hídrica e nutricional, influenciando estratégias adaptativas e desempenho de cada cultivar. Este estudo teve como objetivo avaliar a arquitetura radicular inicial de cinco cultivares de soja. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, composto por cinco cultivares (Ataque, Neo 790, Olimpo, Sparta e Tormenta), com dez repetições. O experimento foi conduzido em outubro de 2024, na estufa do Grupo Canassa, em Inhumas, Goiás, em cada repetição foram semeadas 50 sementes, totalizando 500 por tratamento. Apenas dez plântulas centrais por repetição foram avaliadas, resultando em 100 plântulas analisadas por tratamento, sendo retiradas dos canteiros e fotografadas com uma câmera digital. As imagens obtidas foram analisadas através do software WinRHIZO 2012, para avaliação de: comprimento total da raiz, diâmetro da raiz, área de superfície total de raízes e volume de raízes. A cultivar Olimpo apresentou o maior comprimento radicular (49,19 cm), 28,6% superior à cultivar com menor valor (Neo 790, 38,30 cm). O diâmetro radicular foi máximo em Tormenta (1,98 mm), 20,7% maior que a média das demais cultivares. Em volume radicular, Sparta destacou-se (0,089 cm<sup>3</sup>), 111,9% superior à cultivar de menor volume (Neo 790, 0,042 cm<sup>3</sup>). A área de superfície radicular foi maior em Ataque (48,80 cm<sup>2</sup>), 28,5% acima da menor cultivar (Neo 790, 37,99 cm<sup>2</sup>). O desenvolvimento radicular inicial das plântulas evidência diferentes estratégias adaptativas das cultivares quanto à exploração do solo e ao potencial de absorção de água e nutrientes, sendo as cultivares Olimpo e Sparta com maior exploração do solo, e a cultivar Tormenta com raízes mais espessas.

#### ABSTRACT

The initial root development of soybean seedlings determines water and nutritional efficiency, influencing the adaptive strategies and performance of each cultivar. This study aimed to evaluate the initial root architecture of five soybean cultivars. The experimental design adopted was completely randomized, consisting of five cultivars (Ataque, Neo 790, Olimpo, Sparta, and Tormenta), with ten replicates. The experiment was conducted in October 2024, in the Canassa Group greenhouse, in Inhumas, Goiás. In each repetition, 50 seeds were sown, totaling 500 per treatment. Only ten central seedlings per repetition were evaluated, resulting in 100 seedlings analyzed per treatment, which were removed from the beds and photographed with a digital camera. The images obtained were analyzed using WinRHIZO 2012 software to evaluate: total root length, root diameter, total root surface area, and root volume. The Olimpo cultivar had the longest root length (49.19 cm), 28.6% longer than the cultivar with the shortest root length (Neo 790, 38.30 cm). Root diameter was highest in Tormenta (1.98 mm), 20.7% greater than the average of the other cultivars. In root volume, Sparta stood out (0.089 cm<sup>3</sup>), 111.9% higher than the cultivar with the lowest volume (Neo 790, 0.042 cm<sup>3</sup>). The root surface area was greater in Ataque (48.80 cm<sup>2</sup>), 28.5% higher than the smallest cultivar (Neo 790, 37.99 cm<sup>2</sup>). The initial root development of the seedlings shows different adaptive strategies of the cultivars, with the Olimpo and Sparta cultivars exploiting the soil more, and the Tormenta cultivar having thicker roots.

#### Key words:

Seedling vigor  
 Adaptive strategies  
 Root morphology

## INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é a principal cultura agrícola em diversas regiões do Brasil, destacando-se pela elevada importância econômica e pela ampla utilização na alimentação humana e animal. O crescimento da produção nacional de soja ao longo dos anos está relacionado aos avanços científicos e à disponibilidade de tecnologia para o setor produtivo (CRUZ et al., 2025a). Para a safra 2023/2024, a produção total de soja está estimada em 147,7 milhões de toneladas, importante commodity que compõe a base alimentar global (CONAB, 2024). Nos últimos anos, tem-se intensificado a busca por sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis, nos quais o uso racional dos recursos naturais e a redução da dependência de insumos externos são aspectos fundamentais (SILVA et al., 2022). Nesse contexto, o desempenho inicial das plantas, especialmente o desenvolvimento do sistema radicular, assume papel estratégico na adaptação das culturas a diferentes condições ambientais.

Diversas cultivares de soja têm sido desenvolvidas com o objetivo de aumentar a produtividade e a adaptação a diferentes condições ambientais. Entre as cultivares destacam-se Olimpo, Neo 790 e Ataque, todas de ciclo médio, com duração de 115 a 130 dias da emergência à maturação. Essas cultivares são resistentes ao cancro da haste e à pústula bacteriana, sendo que Olimpo e Neo 790 apresentam ramificação baixa, enquanto Ataque possui ramificação média e resistência ao nematoide de cisto, incluindo a raça 3. As cultivares Tormenta e Sparta, também de ramificação baixa, possuem ciclo de 100 a 125 dias e resistência a nematoides de cisto da raça 3, sendo que Tormenta apresenta tolerância às sulfonilureias (STS<sup>TM</sup>) (EMBRAPA, 2023). Nesse contexto, a adoção de diferentes cultivares e a valorização da diversidade genética nos sistemas produtivos alinham-se aos princípios da agroecologia, contribuindo para maior resiliência dos agroecossistemas e redução da aplicação insumos sintéticos que agridem os agroecossistemas (ALTIERI, 2012; MASSARIOL et al., 2025).

O vigor inicial das plantas é determinante para o sucesso do cultivo, pois influencia diretamente a velocidade de emergência, o estabelecimento do estande e o crescimento radicular precoce, aspectos que condicionam a capacidade de exploração do solo e o potencial produtivo da cultura (Marcos Filho, 2015; Rossi et al., 2017). A avaliação do sistema radicular é fundamental para compreender a interação solo-planta-atmosfera, uma vez que as raízes desempenham papel essencial na captação de água e nutrientes. Conforme Meira et al. (2026), no contexto da agroecologia, características como o desenvolvimento radicular inicial estão associadas à maior resiliência das plantas e à adaptação a sistemas de baixo uso de insumos. Cultivares com sistemas radiculares vigorosos e bem estruturados nos estádios iniciais tendem a apresentar maior eficiência na absorção de água e nutrientes, maior tolerância a estresses abióticos e melhor desempenho nas fases subsequentes do ciclo (SANTOS et al., 2025a). Diversos estudos com cultivares de soja têm abordado a importância da arquitetura radicular para o desempenho agrônomo, demonstrando variações genotípicas associadas à eficiência de exploração do solo e à tolerância a estresses abióticos (LIANG et al., 2010; XIONG et al., 2020). Assim, compreender as diferenças entre cultivares quanto à arquitetura radicular nos primeiros dias após a germinação é relevante para identificar

características associadas à maior capacidade de exploração do solo e potencial eficiência na absorção de água e nutrientes. Parte-se da hipótese de que cultivares de soja apresentam diferenças na arquitetura radicular inicial, refletindo estratégias distintas de exploração do solo.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a arquitetura radicular inicial de cultivares de soja sob condições de casa de vegetação, visando identificar diferenças morfológicas que indiquem distintas estratégias de exploração do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no mês de outubro de 2024, em casa de vegetação nas imediações do Grupo Canassa em Inhumas, Goiás, Brasil. A estrutura possuía cobertura com sombrite de 50%, dimensões aproximadas de 160 m<sup>2</sup> e laterais teladas, proporcionando boa ventilação e luminosidade difusa. Durante o período experimental, a temperatura média interna foi determinada com um termo-higrômetro, onde verificou-se variação de 25 e 32 °C, e a irrigação foi realizada por meio de microaspersores com vazão individual de 120 L h<sup>-1</sup>, acionados duas vezes ao dia, às 6h30 e às 18h30, de modo a manter o substrato constantemente próximo à capacidade de campo.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos, que consistem em cinco diferentes cultivares de soja, e dez repetições. Em cada repetição foram semeadas 50 sementes, totalizando 500 sementes por tratamento. Após a emergência, foram desconsideradas as plântulas das bordas, sendo avaliadas 10 plântulas centrais por repetição, perfazendo 100 plântulas analisadas por tratamento.

As cultivares utilizadas referem-se à safra 2023/24, com validade de germinação até dezembro de 2024. As identificações das cultivares são: Ataque (81IX82RSF I2X), Neo 790 (O790IPRO), Olimpo (80I82RSF IPRO), Sparta (80IX81RSF I2X) e Tormenta (74K76RSF CE), com lotes respectivos 650CA24825, C240790755, 65CA24T201, 406CA24T20 e 675CA24301. Todas as cultivares foram caracterizadas como de ciclo médio, foram previamente armazenadas em câmara fria sob temperatura controlada entre 13 e 15 °C de fevereiro de 2024 até o momento da semeadura.

O substrato utilizado foi composto por solo de textura média, retirado da camada superficial (0,00-0,20 m), e areia lavada na proporção 1:1. Considerando a mistura com areia, as características do substrato final apresentaram pH em H<sub>2</sub>O = 5,8; M. O. = 0,35 g dm<sup>-3</sup>; P-Mehlich = 3 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,35 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 4,5 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 2 mmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 1 mmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al = 20 mmolc dm<sup>-3</sup>; SB = 7 mmolc dm<sup>-3</sup>; CTC total (T) = 27 mmolc dm<sup>-3</sup> e CTC efetiva (t) = 8 mmolc dm<sup>-3</sup>. Quanto à textura, a mistura apresentou 61% de areia, 13% de silte e 26% de argila, indicando um substrato de baixa fertilidade natural, com boa aeração e drenagem, condições favoráveis à germinação e desenvolvimento inicial das plântulas.

As condições climáticas durante o experimento foram monitoradas, com temperaturas máximas em outubro atingindo 29°C e mínimas de 19°C.

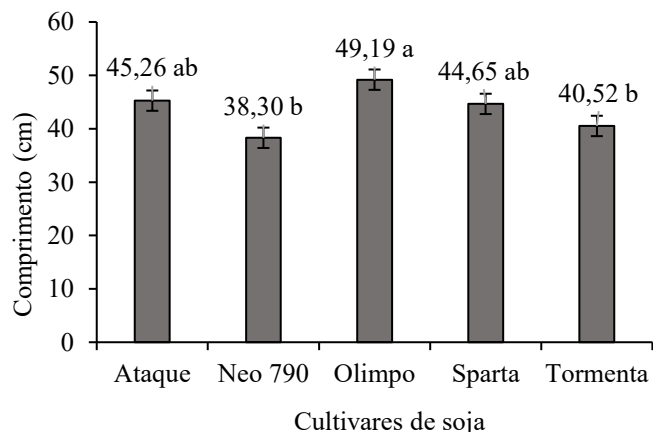
O plantio foi realizado 13 de outubro de 2024 e avaliação das plântulas emergidas ocorreu no dia 23 de outubro de 2024, aos 10 dias após a semeadura (DAS). Para a avaliação realizou-

se a retirada manual de forma cuidadosa das plântulas para que não houvesse arrebentamento das raízes, e posteriormente foram lavadas em água corrente. Após retirar as plântulas do solo, o sistema radicular foi separado da parte aérea. Em seguida, foram capturadas imagens das raízes sobre uma superfície de EVA preto (etileno-vinil-acetato) utilizando uma câmera digital (Figura 1). As imagens do sistema radicular das plântulas foram analisadas com o software WinRhizo Pro 2012®, permitindo a obtenção das seguintes métricas: comprimento total da raiz (CompR, cm), diâmetro da raiz (DiamR, mm), área de superfície total das raízes (AreaS, cm<sup>2</sup>) e volume de raízes (VolR, cm<sup>3</sup>).

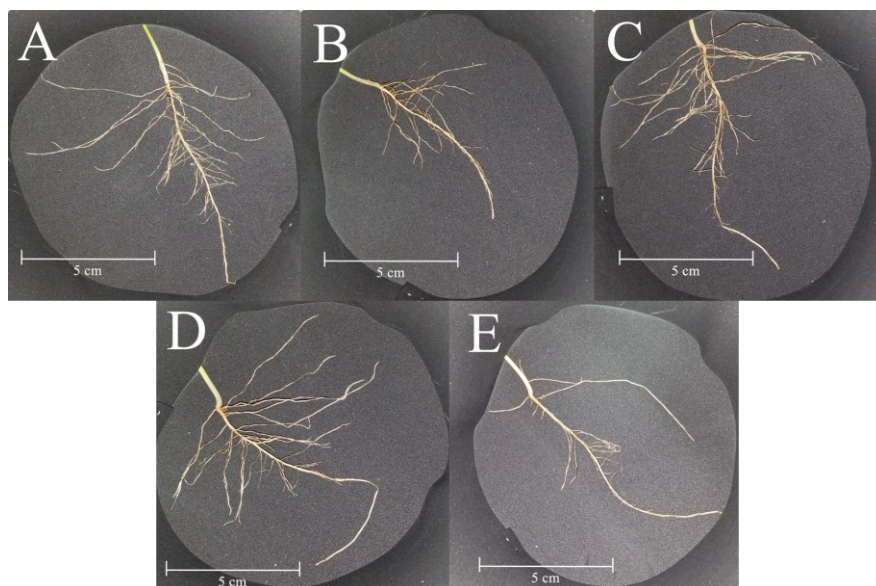
Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (teste de Fisher) por meio do software estatístico SISVAR 5.6. (FERREIRA, 2019). As médias foram comparadas através do teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Além disso, realizou-se uma Análise de Componentes Principais (PCA) para explorar as correlações entre as variáveis e visualizar a dissimilaridade entre as cultivares. Os dois primeiros PCs explicaram 95,4% da variação dos dados. Um biplot (gráfico bidimensional) foi gerado para correlacionar as cultivares e as variáveis de resposta, utilizando o software estatístico Scilab (SCILAB ENTERPRISES, 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento médio de raízes se destacou na cultivar Olimpo indicando um crescimento mais vigoroso em extensão (Figura 2), sendo respectivamente 28,6% e 22,0% superior as cultivares Neo 790 e Tormenta, que foram as cultivares com menores valores médios, sugerindo um desenvolvimento mais limitado. As demais cultivares, Sparta e Ataque, apresentaram comprimentos intermediários, situando-se entre os extremos de crescimento e não diferenciando estatisticamente entre si..



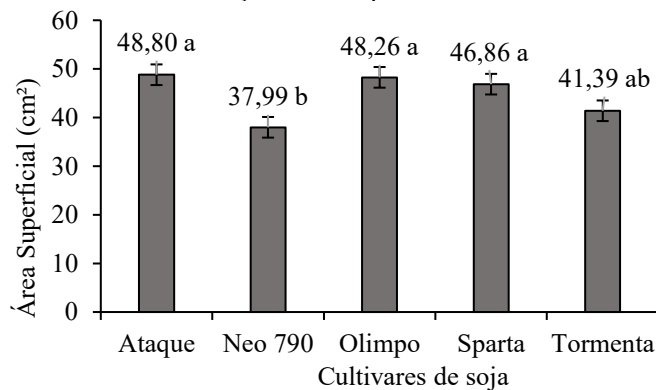
**Figura 2.** Valores médios do comprimento total (cm) de raízes de plântulas de soja das cultivares Ataque, Neo 790, Olimpo, Sparta e Tormenta aos 10 dias após a semeadura. \*Barra que apresentam letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste tukey ao nível de 5% de significância.



**Figura 1.** Imagens de raízes de plântulas de soja das cultivares (A) Ataque, (B) Neo 790, (C) Olimpo, (D) Sparta e (E) Tormenta aos 10 DAS.

Raízes mais longas, mesmo em estágios iniciais de desenvolvimento, representam um indicativo de maior vigor e capacidade de absorção de água e nutrientes nas camadas superficiais do solo, favorecendo o estabelecimento inicial das plântulas (WANG et al., 2016). Essa característica está diretamente relacionada à capacidade da planta de explorar o solo de forma eficiente, conforme observado por Taiz et al. (2017). Esse comportamento pode explicar o desempenho superior observado para a cultivar Olimpo aos 10 dias após a semeadura no presente estudo, cuja maior extensão radicular sugere maior eficiência no crescimento inicial das plântulas.

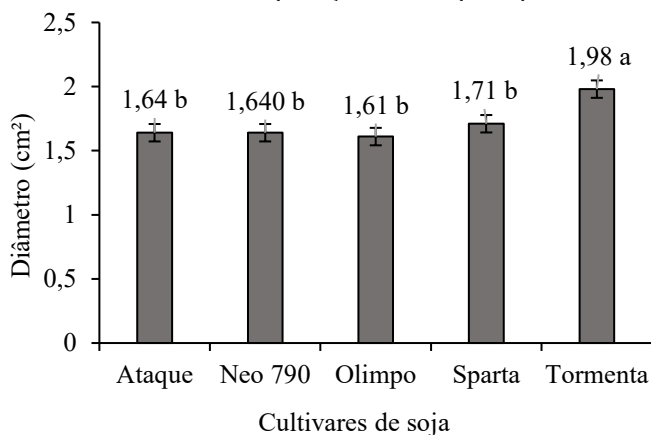
As cultivares Olimpo, Sparta, Ataque e Tormenta não diferiram estatisticamente entre si na análise da área de superfície total das raízes (Figura 3), apresentando valores semelhantes. A cultivar Neo 790, por sua vez, apresentou valores significativamente inferiores aos de Olimpo, Ataque e Sparta, mas não diferiu de Tormenta. Esses resultados indicam que, embora tenham sido observadas diferenças no comprimento radicular entre as cultivares, essa variação nem sempre se reflete proporcionalmente na área total de superfície das raízes, uma vez que esse parâmetro também depende da densidade de ramificações e da arquitetura radicular.



**Figura 3.** Valores médios de área de superfície total (cm<sup>2</sup>) de raízes de plântulas de soja das cultivares Ataque, Neo 790, Olimpo, Sparta e Tormenta aos 10 DAS. \*Barra que apresentam letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Nesse sentido, a cultivar Olimpo apresentou maior comprimento total de raízes (Figura 2), o que sugere maior potencial de exploração do substrato nas fases iniciais de desenvolvimento. Por outro lado, cultivares com menor comprimento radicular, como a Neo 790, podem apresentar menor capacidade inicial de exploração do substrato, refletindo em menores valores de área radicular observados neste estudo. Essas diferenças podem estar associadas a características genéticas das cultivares e ao seu padrão de crescimento inicial, o que pode influenciar a eficiência na absorção de água e nutrientes durante o estabelecimento das plântulas (CRUZ et al., 2022).

A cultivar Tormenta destacou-se pelo diâmetro de raiz, sendo 20,7% maior que a média das demais cultivares, indicando a presença de raízes estruturalmente mais espessas (Figura 4). Estudos indicam que raízes com maior diâmetro podem apresentar maior resistência mecânica e maior capacidade de penetração no solo, especialmente em condições de maior resistência do solo (CRUZ et al., 2022; CRUZ et al., 2025b). As demais cultivares (Ataque, Neo 790, Olimpo e Sparta) apresentaram diâmetros menores e estatisticamente semelhantes entre si. Conforme Sun et al. (2018), raízes com maior diâmetro podem contribuir para maior estabilidade estrutural e favorecer a exploração do solo pelas plantas.

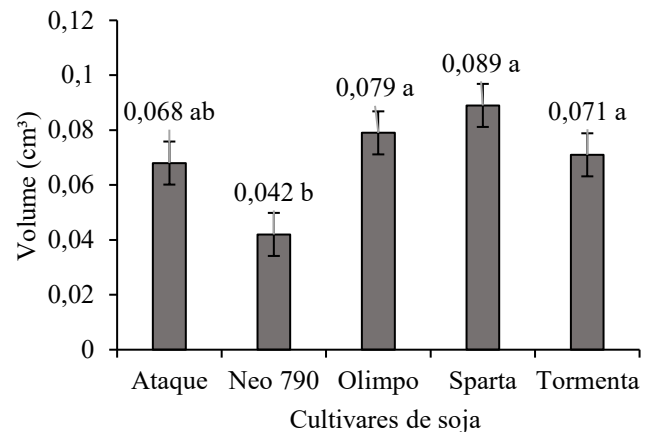


**Figura 4.** Valores médios de diâmetro (mm) de raízes de plântulas de soja das cultivares Ataque, Neo 790, Olimpo, Sparta e Tormenta aos 10 DAS. \*Barra que apresentam letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Observou-se variação no volume radicular entre as cultivares avaliadas (Figura 5). As cultivares Sparta, Olimpo e Tormenta apresentaram maiores valores de volume de raízes, o que indica maior desenvolvimento radicular nas fases iniciais de crescimento. Um sistema radicular mais volumoso pode favorecer a exploração do substrato e ampliar a capacidade de absorção de água e nutrientes durante o estabelecimento das plântulas (FRESCHET et al., 2021). Por outro lado, cultivares com menor volume radicular, como a Neo 790, podem apresentar menor potencial inicial de exploração do substrato, refletindo diferenças no padrão de crescimento radicular entre os genótipos avaliados.

A análise de componentes principais explicou 95,4% da variabilidade total dos dados, sendo 67,3% representados pelo PC1 e 28,1% pelo PC2 (Figura 6). O eixo PC1 esteve associado principalmente às variáveis comprimento total da raiz, área de superfície total e volume radicular, indicando que essas características contribuíram fortemente para a diferenciação

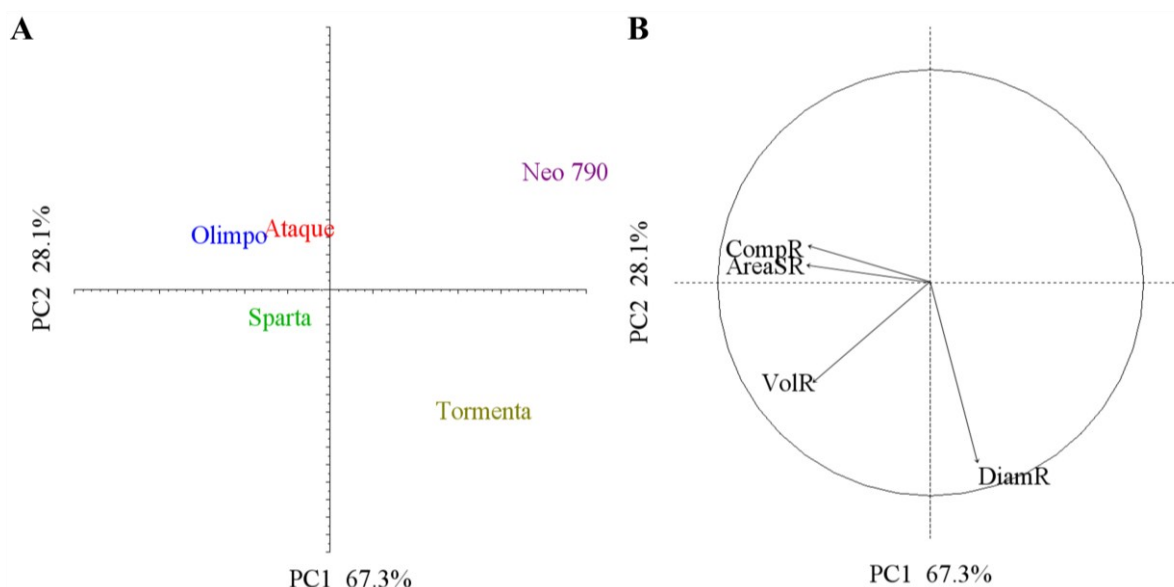
das cultivares. O PC2 apresentou maior associação com o diâmetro radicular. Na figura 6A, observou-se que as cultivares Olimpo e Sparta apresentaram maior associação com comprimento, área e volume de raízes, indicando maior desenvolvimento radicular inicial. Por outro lado, a cultivar Tormenta mostrou maior relação com o diâmetro de raízes, refletindo o maior espessamento radicular observado anteriormente. A cultivar Neo 790 apresentou menor associação com as variáveis relacionadas ao desenvolvimento radicular, indicando menor vigor inicial em comparação às demais cultivares.



**Figura 5.** Valores médios de volume (cm³) de raízes de plântulas de soja das cultivares Ataque, Neo 790, Olimpo, Sparta e Tormenta aos 10 DAS. \*Barra que apresentam letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Com base na qualidade representacional dos tratamentos, observou-se que Olimpo e Ataque apresentaram as maiores correlações positivas com o comprimento total de raiz e a área de superfície total das raízes (Figuras 6A e B). A cultivar Sparta destacou-se por apresentar correlação mais forte com o volume de raízes, enquanto o diâmetro médio de raiz correlacionou-se positivamente com a cultivar Tormenta. Em contrapartida, o tratamento Neo 790 não apresentou correlação positiva com nenhuma das variáveis analisadas. Cultivares posicionadas próximas no gráfico de componentes principais, como Olimpo e Ataque, mostraram perfis semelhantes, caracterizados por maior comprimento radicular e área de superfície, atributos relacionados a uma estratégia exploratória de solo mais ampla. Sparta e Tormenta formaram um grupo distinto, com maior volume e diâmetro de raízes, indicando uma estratégia de consolidação estrutural. Essas diferenças estão associadas a características genéticas próprias de cada cultivar, refletindo diferentes padrões de alocação de biomassa entre raiz e parte aérea. Em termos fisiológicos, o investimento em raízes mais longas e ramificadas tende a favorecer a absorção de água e nutrientes, especialmente em estádios iniciais de desenvolvimento, enquanto maior alocação em parte aérea pode ser vantajosa sob condições ideais de disponibilidade de recursos (LYNCH, 2019).

Além das diferenças morfológicas observadas entre as cultivares, os resultados deste estudo também apresentam implicações ecológicas relevantes para a sustentabilidade dos sistemas de produção.



**Figura 6.** Análise de componentes principais (PCA) PCA1 X PCA2, explicando as correlações entre as variáveis avaliadas e cinco cultivares de soja. Dois componentes principais (PCs) foram responsáveis por 95,4% da variação dos dados. (A) Gráfico biplot para tratamentos Ataque, Neo 790, Olimpo, Sparta e Tormenta. (B) Gráfico com o círculo de correlação das variáveis: Comprimento total da raiz (CompR, cm), diâmetro médio da raiz (DiamR, mm), área de superfície total das raízes (AreaS, cm<sup>2</sup>), volume das raízes (VolR, cm<sup>3</sup>).

As cultivares Olimpo e Sparta, que se destacaram pelo maior comprimento e volume radicular, podem ser interpretadas como portadoras de um perfil fenotípico potencialmente mais favorável à intensificação sustentável da agricultura. Essa constatação se dá pelo fato de que sistemas radiculares mais extensos e integrados ampliam a exploração espacial do solo e favorecem a aquisição de água e nutrientes em ambientes heterogêneos, sobretudo sob condições de limitação de recursos ou sem aplicações elevadas de fertilizantes sintéticos (KLEIN et al., 2020).

Além disso, a literatura recente destaca que atributos radiculares estão diretamente relacionados ao funcionamento das plantas e dos ecossistemas, influenciando processos como aquisição de recursos, tolerância a estresses e eficiência no uso de insumos, o que reforça o valor ecológico de genótipos com maior vigor radicular inicial (XIONG et al., 2020; FRESCHET et al., 2021; GRIFFITHS et al., 2022; SANTOS et al., 2025b). Nessa perspectiva, cultivares com maior capacidade de exploração do perfil do solo podem apresentar maior potencial para acessar água e nutrientes deslocados para camadas subsuperficiais, contribuindo para maior resiliência das plantas e para sistemas agrícolas mais eficientes e com menor impacto ambiental (KLEIN et al., 2020). Assim, a expressão de características como maior comprimento e volume de raízes pode ser considerada não apenas um indicativo de desempenho inicial superior, mas também um atributo funcional relevante para estratégias de manejo e seleção de cultivares voltadas à sustentabilidade agrícola.

Os resultados deste estudo reforçam a importância de selecionar cultivares com características radiculares favoráveis ao desenvolvimento inicial, como maior comprimento, área de superfície e volume de raízes. As cultivares Olimpo, Sparta e Tormenta destacaram-se em aspectos distintos que contribuem para a eficiência na absorção de nutrientes e água nas fases iniciais de desenvolvimento, evidenciando seu potencial agrônomo. Esses achados estão de acordo com a literatura que destaca a importância de um sistema radicular bem desenvolvido para ampliar a exploração do solo e a absorção

de água e nutrientes pelas plantas (SUN et al., 2018). Além disso, os resultados contribuirão para o avanço do conhecimento sobre a relação entre características radiculares e o desempenho agrônomo da soja em diferentes regiões.

## CONCLUSÃO

Em condições controladas, a cultivar Olimpo apresentou maior comprimento e área de raízes, enquanto Sparta destacou-se pelo vigor inicial e volume radicular. Tormenta apresentou raízes mais espessas, indicando estratégia distinta de desenvolvimento. As diferenças observadas evidenciam variações na arquitetura radicular inicial entre cultivares. Sob a perspectiva da sustentabilidade, cultivares com maior desenvolvimento radicular, como Olimpo e Sparta, podem favorecer a exploração do solo e a absorção de água e nutrientes, contribuindo para maior eficiência no uso de recursos e menor dependência de insumos externos. .

## REFERENCES

- ALTIERI, M. A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.
- CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2023/24. Oitavo levantamento. Brasília, DF: Conab, v. 11, n. 8, 2024.
- CRUZ, D. R. C.; NASCENTE, A. S.; SILVA, M. A.; BARROSO NETO, J. Root and shoot development of corn seedlings as affected by rhizobacteria. *Colloquim Agrariae*, v. 18, n. 1, p. 53-63, 2022. [10.5747/ca.2022.v18.n1.a479](https://doi.org/10.5747/ca.2022.v18.n1.a479)
- CRUZ, D. R. C.; NASCENTE, A. S.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. C.; DUARTE, G. A.; SILVA, M. A.; ROCHA, I. S. Soybean productivity and financial viability with rhizobacteria, farming systems, and phosphorus doses.

- Journal Of Environmental Science and Health, Part B, v. 60, n. 7, p. 291-298, 2025a. [10.1080/03601234.2025.2516855](https://doi.org/10.1080/03601234.2025.2516855)
- CRUZ, D. R. C.; NASCENTE, A. S.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. C.; SILVA, M. A.; DUARTE, G. A.; ROCHA, I. S.; BARROSO NETO, J. Multifunctional rhizobacteria in the initial root growth of soybean, common bean, maize, and upland rice seedlings. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 46, n. 2, p. 383-400, 2025b. [10.5433/1679-0359.2025v46n2p383](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n2p383)
- EMBRAPA. Cultivares de soja BRS 2023: características e recomendações. Londrina: Embrapa Soja, 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1158872/1/2-Catalogo-Soja-BRS-2023-OL.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2024.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema de análise computacional para desenhos do tipo split plot de efeitos fixos. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. [10.28951/rbb.v37i4.450](https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450)
- FRESCHET, G. T.; ROUMET, C.; COMAS, L. H.; WEEMSTRA, M.; BENGOUGH, A. G.; REWALD, B.; BARDGETT, R. D.; DE DEYN, G. B.; JOHNSON, D.; KLIMEŠOVÁ, J.; LUKAC, M.; MCCORMACK, M. L.; MEIER, I. C.; PAGÈS, L.; POORTER, H.; PRIETO, I.; WURZBURGER, N.; ZADWORNÝ, M.; BAGNIEWSKA-ZADWORNIA, A.; BLANCAFLOR, E. B.; BRUNNER, I.; GESSLER, A.; HOBBIE, S. E.; IVERSEN, C. M.; MOMMER, L.; PICON-COCHARD, C.; POSTMA, J. A.; ROSE, L.; RYSER, P.; SCHERER-LORENZEN, M.; SOUDZILOVSKAIA, N. A.; SUN, T.; VALVERDE-BARRANTES, O. J.; WEIGELT, A.; YORK, L. M.; STOKES, A. Root traits as drivers of plant and ecosystem functioning: current understanding, pitfalls and future research needs. *New Phytologist*, v. 232, n. 3, p. 1123-1158, 2021. [10.1111/nph.17072](https://doi.org/10.1111/nph.17072)
- GRIFFITHS, M.; DELORY, B. M.; JAWAHIR, V.; WONG, K. M.; BAGNALL, G. C.; DOWD, T. G.; NUSINOW, D. A.; MILLER, A. J.; TOPP, C. N. Optimisation of root traits to provide enhanced ecosystem services in agricultural systems: a focus on cover crops. *Plant, Cell & Environment*, v. 45, n. 3, p. 751-770, 2022. [10.1111/pce.14247](https://doi.org/10.1111/pce.14247)
- KLEIN, S. P.; SCHNEIDER, H. M.; PERKINS, A. C.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Multiple Integrated Root Phenotypes Are Associated with Improved Drought Tolerance. *Plant Physiology*, v. 183, n. 3, p. 1011-1025, 2020. [10.1104/pp.20.00211](https://doi.org/10.1104/pp.20.00211)
- LIANG, Q.; CHENG, X.; MEI, M.; YAN, X.; LIAO, H. QTL analysis of root traits as related to phosphorus efficiency in soybean. *Annals of Botany*, v. 106, n. 1, p. 223-234, 2010. [10.1093/aob/mcq097](https://doi.org/10.1093/aob/mcq097)
- LYNCH, J. P. Root phenotypes for improved nutrient capture: an underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytologist*, v. 223, n. 2, p. 548-564, 21 2019. [10.1111/nph.15738](https://doi.org/10.1111/nph.15738)
- MASSARIOL, B. P.; PERON, I. B.; NOVELLO, J. S.; LIMA, M. S. P.; SOUSA, D. S. M.; ADÃO, J. E. A.; COSTA, W. M.; AZEVEDO, P. P. M.; MENON, M. M.; AMARAL, A. A. Três faces da sustentabilidade rural: agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica. *Tópicos em Cafeicultura. Cafeicultura Agroecológica*, p. 52-91, 2025. [10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c2](https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c2)
- MEIRA, V. F. G.; BARDIVIESSO, D. M.; SANTOS, S. M. C.; MUGUERRIMA, A. V. M.; AGUILERA, J. G.; STEINER, F. Eficiência do desenvolvimento inicial da soja em resposta à aplicação de biopotencializador em sementes de alto e baixo vigor. *Trends in Agricultural and Environmental Sciences*, p. e260003, 2026. [10.46420/taes.e260003](https://doi.org/10.46420/taes.e260003)
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015.
- ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J. B. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences*, v. 60, n. 3, p. 215-222, 2017. [10.4322/rca.2239](https://doi.org/10.4322/rca.2239)
- SANTOS, M. V. A.; LIMA, A. F. N.; LAMBERT, R. A.; FARIA, E. F.; PEREIRA, V. J.; SILVA, G. A.; SÁ, G. M.; BORGES, D. F.; BARBOSA, S. C.; BRESIANI, M. Desempenho agrônômico da soja (*Glycine max*) sob diferentes tipos de enraizadores. *Revista Delos*, v. 18, n. 64, p. 1-13, 2025a. [10.55905/rdelosv18.n64-048](https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n64-048).
- SANTOS, V. G. E.; MICHELON, C. J.; JUNGES, E.; RECH, L. F.; DRESSLER, A. L.; RATZLAFF, T. M. Desempenho agrônômico de cultivares de soja sob diferentes níveis de manejo de solo. *Observatório de La Economía Latinoamericana*, v. 23, n. 6, p. e10466, 2025b. [10.55905/oelv23n6-174](https://doi.org/10.55905/oelv23n6-174)
- SCILAB ENTERPRISES. Scilab: Free and open source software for numerical computation. Version 6.1.1. Orsay: Scilab Enterprises, 2012. Disponível em: <https://www.scilab.org>. Acesso em: 17 nov. 2024.
- SILVA, M. A.; CRUZ, D. R. C.; FRASCA, L. L. M.; FILIPPI, M. C. C.; FERREIRA, A. L.; NASCENTE, A. S. Inoculation and co-inoculation with multifunctional rhizobacteria for the initial development of soybean. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 52, p. 73558, 2022. [10.1590/1983-40632022v5273558](https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5273558)
- SUN, B.; GAO, Y.; LYNCH, J. P. Large Crown Root Number Improves Topsoil Foraging and Phosphorus Acquisition. *Plant Physiology*, v. 177, n. 1, p. 90-104, 2018. [10.1104/pp.18.00234](https://doi.org/10.1104/pp.18.00234)
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017.
- XIONG, R.; LIU, S.; CONSIDINE, M. J.; SIDDIQUE, K. H. M.; LAM, H.-M.; CHEN, Y. Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: a review. *Physiologia Plantarum*, v. 172, n. 2, p. 405-418, 2020. [10.1111/ppl.13201](https://doi.org/10.1111/ppl.13201)
- WANG, Y.; THORUP-KRISTENSEN, K.; JENSEN, L. S.; MAGID, J. Vigorous Root Growth Is a Better Indicator of Early Nutrient Uptake than Root Hair Traits in Spring Wheat Grown under Low Fertility. *Frontiers In Plant Science*, v. 7, p. 865, 2016. [10.3389/fpls.2016.00865](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00865)