

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Vinicius Oliveira Martins

**ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMA DE CONSÓRCIO DE
MILHO E CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDOS A DOSES DE *Azospirillum*
brasilense E FONTES DE NITROGÊNIO**

CHAPADÃO DO SUL-MS

2025

Vinicius Oliveira Martins

**ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMA DE CONSÓRCIO DE
MILHO E CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDOS DOSES DE *Azospirillum*
brasilense E FONTES DE NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Profa. Dra. Rita de Cássia Félix
Alvarez

CHAPADÃO DO SUL-MS

2025

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO	
3. MATERIAL E MÉTODOS	
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	
5. CONCLUSÕES	
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

SUMÁRIO

Resumo	vi
Palavras-chave	v
Introdução.....	1
Material e métodos.....	2
Resultados e discussão	4
Conclusão	10
Referencias	10

RESUMO

A avaliação do estoque de carbono em diferentes profundidades é particularmente importante, uma vez que as camadas mais profundas tendem a armazenar formas mais estáveis e persistentes de carbono. Apesar desses avanços, ainda são escassas as investigações que analisam a interação entre fontes de nitrogênio e doses de inoculante microbiano sobre o estoque de carbono em diferentes camadas do solo, especialmente em sistemas integrados como em milho e cana de açúcar. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação doses de *Azospirillum brasilense* associadas a fontes de nitrogênio (nitrato e ureia) no estoque de carbono orgânico em três profundidades do solo cultivado com milho em consórcio com cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em Chapadão do Céu – Go. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de doses de *Azospirillum brasilense* (A1 = 0, A2 = 100, A3 = 200, A4 = 300 mL ha⁻¹; estirpes AbV5 e AbV6; 2×10^8 UFC mL⁻¹) aplicadas na inoculação das sementes, e duas fontes de N (nitrato de amônio e ureia). As parcelas foram compostas de nove linhas de milho (10 m de comprimento), sendo as três centrais consideradas área útil. Aos 60 dias após a germinação, foram coletadas amostras de solo em três profundidades: 0–10 cm (C1), 10–20 cm (C2) e 20–40 cm (C3). Os resultados indicam que o uso do nitrato como fonte de nitrogênio associado a doses mais elevadas de inoculante favorece o acúmulo de carbono no solo, especialmente em camadas subsuperficiais. Já a ureia apresentou comportamento oposto, com redução nos estoques à medida que aumentaram as doses de inoculante, possivelmente em função de perdas por volatilização e menor eficiência no aproveitamento. Esses achados reforçam a importância da escolha adequada da fonte de nitrogênio e da dose de inoculante para maximizar a fixação biológica, o crescimento radicular e, conseqüentemente, o aporte de carbono ao solo.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura sustentável, carbono orgânico do solo, consórcio de culturas

ABSTRACT

Assessing carbon stocks at different depths is particularly important, since deeper layers tend to store more stable and persistent forms of carbon. Despite these advances, research analyzing the interaction between nitrogen sources and doses of microbial inoculant on carbon stocks in different soil layers is still scarce, especially in integrated systems such as corn and sugarcane. Thus, this study aimed to evaluate the effect of applying doses of *Azospirillum brasilense* associated with nitrogen sources (nitrate and urea) on organic carbon stocks at three depths in soil cultivated with corn intercropped with sugarcane. The experiment was conducted in Chapadão do Céu – GO. The experimental design was a randomized complete block design in a factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of doses of *Azospirillum brasilense* (A1 = 0, A2 = 100, A3 = 200, A4 = 300 mL ha⁻¹; strains AbV5 and AbV6; 2×10^8 CFU mL⁻¹) applied during seed inoculation, and two N sources (ammonium nitrate and urea). The plots were composed of nine rows of corn (10 m long), with the three central rows considered the useful area. sixty days after germination, soil samples were collected at three depths: 0–10 cm (C1), 10–20 cm (C2), and 20–40 cm (C3). The results indicate that the use of nitrate as a nitrogen source associated with higher doses of inoculant favors the accumulation of carbon in the soil, especially in subsurface layers. urea, on the other hand, showed the opposite behavior, with a reduction in stocks as inoculant doses increased, possibly due to losses from volatilization and lower efficiency in utilization. These findings reinforce the importance of choosing the appropriate nitrogen source and inoculant dose to maximize biological fixation, root growth, and consequently, carbon input to the soil.

Keywords: sustainable agriculture, soil organic carbon, crop intercropping

INTRODUÇÃO

O carbono orgânico do solo (COS) possui papel central na manutenção da fertilidade e da qualidade do solo, influenciando a estrutura, a capacidade de retenção de água e a ciclagem de nutrientes, além de representar um dos principais reservatórios de carbono terrestre, com relevância para a mitigação das mudanças climáticas Gerke (2022). A avaliação do estoque de carbono em diferentes profundidades é particularmente importante, uma vez que as camadas mais profundas tendem a armazenar formas mais estáveis e persistentes de carbono Teodoro et al. (2024).

O nitrogênio (N) é considerado o nutriente mais limitante à produtividade agrícola e sua aplicação em solos tropicais exerce forte influência sobre a dinâmica do carbono. A fonte utilizada é determinante nesse processo: enquanto a ureia é a forma mais comum e de menor custo, apresenta maiores riscos de perdas por volatilização e menor eficiência de aproveitamento Dos Santos et al. (2025). Já o nitrato tende a favorecer maior crescimento radicular e sincronização da absorção de nutrientes, podendo aumentar o aporte de carbono via exsudatos e resíduos vegetais Saldanha et al. (2016). Entretanto, a adubação nitrogenada também pode estimular a decomposição da matéria orgânica nativa do solo, sendo essencial avaliar o balanço entre entradas e perdas de carbono.

Nesse contexto, a inoculação de microrganismos promotores de crescimento, como *Azospirillum brasilense*, tem ganhado destaque como estratégia sustentável para melhorar a eficiência do uso de N Galindo et al. (2022). A espécie é reconhecida pela capacidade de promover crescimento radicular, aumentar a fixação biológica de nitrogênio e estimular a exsudação de compostos orgânicos, resultando em maior aporte de carbono ao solo (Jehani et al., 2023).

Apesar desses avanços, ainda são escassas as investigações que analisam a interação entre fontes de nitrogênio e doses de inoculante microbiano sobre o estoque de carbono em diferentes camadas do solo, especialmente em sistemas integrados como milho e cana-de-açúcar. Em 2015 a Embrapa Cerrados começou a desenvolver o cultivo desse consórcio na cana planta buscando aproveitamento de área após o plantio da cana e a entrada do período seco (Santos, 2025).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de doses de *Azospirillum brasilense* associadas a fontes de nitrogênio (nitrato e ureia) no estoque de carbono orgânico em três profundidades do solo cultivado com milho em consórcio com cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

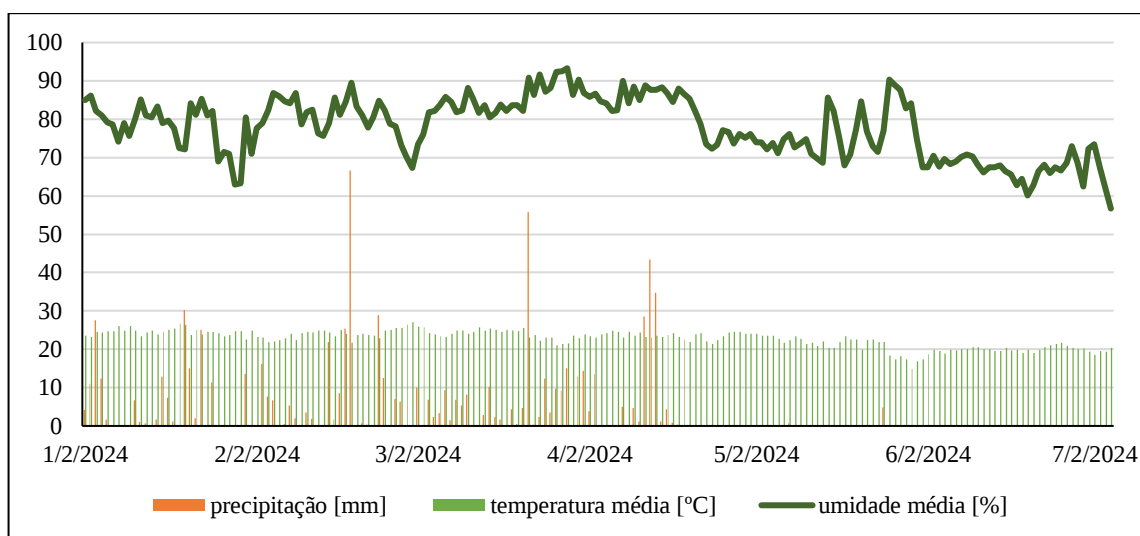
O experimento foi conduzido no município de Chapadão do Céu – GO, nas coordenadas 18°17'59.5" S; 52°42'12.1" O. O solo é classificado como Latossolo vermelho mesotrófico, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Análise de solo realizada na área experimental, Chapadão do Céu – GO, 2024.

Prof	MO	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	S
cm	g kg ⁻¹	CaCl ₂	mg dm ⁻³ resina			mmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³
0-25	27,25	5,41	34,35	0,86	41,55	13,00	1,00	22,20	16,55
25-50	20,15	4,85	13,15	0,39	14,75	5,35	1,78	29,00	62,50

Prof	SB	CTC	V%	m%	B	Cu	Mn	Fe	Zn
cm	mmolc dm ⁻³		%				mg dm ⁻³		
0-25	55,41	77,61	71,11	1,82	0,32	1,20	0,63	44,17	1,77
25-50	20,49	49,49	40,91	8,89	-	-	-	-	-

De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é aw tipo Alvares et al. (2013), com verões chuvosos e invernos secos. A precipitação anual acumulada é 1.740 mm e a temperatura média anual é 23,2°C. Os dados médios de precipitação e temperatura do ar durante o ciclo de cultivo são mostrados na Figura 1. O regime de chuvas foi bem distribuído durante o ciclo da cultura, interrompendo as chuvas no dia 17/04/2024 próximo ao ponto de colheita do milho, a temperatura média diária também atendeu as necessidades da cultura durante seu desenvolvimento.



Fonte: Dados do próprio autor

Figura 1. Dados mensais registrado pela plataforma Zeus, de precipitação pluviométrica (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa (%). Chapadão do Céu - GO, Brasil, 2023/24

O experimento foi instalado na safra 2023/2024 utilizando o híbrido de milho (Pioneer 3845 VYHR) com espaçamento de 0,5 metro 106 dias após colheita da cana-de-açúcar (SP 801816) plantada em 21/04/2014 (com 9 cortes) com espaçamento de 1,5 metro, intercalando 3 linhas de milho na entrelinha da cana.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de doses de *Azospirillum brasilense* (SI: sem inoculação, DP: 100 ml ha⁻¹, 2DP: 200 ml ha⁻¹; 3DP: 300 ml ha⁻¹ e fontes de N (uréia e nitrato de amônio). O *Azospirillum brasilense* utilizado possui densidade de 1,00 g.dm⁻³, 2 x 10⁸ UFC.mL⁻¹ e estirpes AbV5 e AbV6, aplicados nos tratamentos de sementes no dia do plantio, 26 de janeiro de 2024. As parcelas tinham nove linhas de milho (10 m de comprimento), sendo as três centrais consideradas área útil.

A adubação de semeadura utilizada foi a padrão comumente aplicada em áreas comerciais, 225 kg ha⁻¹ de 11-52-00 e 250 kg ha⁻¹ de 00-00-60, e o híbrido de milho semeados com 70.000 sementes ha⁻¹ (P3845 VYHR). De cobertura foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de cada fonte nitrogenada. 24 horas após a semeadura, realizamos a roçada mecânica da área para simularmos o corte do canavial ideal para o projeto, por conta do tempo da colheita da cana-de-açúcar e o plantio do milho, sendo uma simulação de porte ideal. No travamento da cana realizamos a aplicação de 504 g ha⁻¹ i.a. de glifosato sal de amônio no dia 24/02/2024. A colheita do experimento foi realizada no dia 18/06/2024, a área de colheita foi de 4 m².

Aos 60 dias após a germinação, foram coletadas amostras de solo em três profundidades: 0–10 cm (C1), 10–20 cm (C2) e 20–40 cm (C3). O teor de carbono orgânico foi determinado por método colorimétrico Cantarella et al. (2001), com digestão úmida em bicromato de sódio e leitura em espectrofotômetro (650 nm). A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico Teixeira et al. (2017).

O estoque de carbono orgânico (EstC) foi calculado a partir da concentração de C e densidade do solo, corrigida pela densidade da área de referência (vegetação nativa), conforme Carvalho et al. (2009): $Ds = \frac{m_a}{v}$

Em que: D_s - densidade do solo em kg dm^{-3} ; m_a - massa da amostra de solo seco a 105°C até peso constante em gramas; e V - volume do cilindro em cm^3 .

O cálculo do estoque de carbono foi realizado através da densidade do solo utilizando correção baseada em Carvalho et al. (2009), onde cada camada estudada é corrigida por sua espessura em relação a área de referência (vegetação nativa), conforme

$$\text{fórmula abaixo: } EstC = \frac{Cs * Ds * (\frac{D_{ref}}{Ds} * e)}{10}$$

Em que: EstC - estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1}); Cs - teor de carbono orgânico na profundidade amostrada (kg dm^{-3}); D_s - densidade do solo na profundidade amostrada (kg dm^{-3}); D_{ref} - densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (kg dm^{-3}); e - espessura da camada considerada.

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F), com comparação de médias pelo teste de Tukey (5%). Também foi realizada análise de componentes principais (PCA) para explorar relações entre tratamentos e variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a análise de variância, verificou-se interação significativa entre as doses de inoculante e as fontes de nitrogênio para o estoque de carbono nas três camadas avaliadas (Tabela 1). Esse resultado evidencia que o efeito das doses de inoculante sobre o estoque de carbono depende da fonte de nitrogênio utilizada, indicando que o manejo conjunto desses fatores é determinante para a dinâmica do carbono no solo.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para estoque de carbono nas camadas de solo avaliadas no consórcio de milho e cana-de-açúcar submetidas a doses de *Azospirillum brasilense* e fontes de nitrogênio

F.V	G.L	C1	C2	C3
Bloco	3	1.00	32.17	61.42
Inoculação	3	52.79	88.68	82.27*
Fonte	1	31.88	35.74	58.00*
Inoculação*Fonte	3	724.35*	219.95*	347.00*
Residual	21	25.00	28.41	14.62
CV (%)		20.86	24.69	17.18

F.V.: fonte de variação; G.L.: graus de liberdade; C.V. (%): coeficiente de variação; * significativo a 5% pelo teste F.

Na primeira camada, quando utilizada a fonte nitrato, as maiores médias de estoque de carbono foi maior para nitrato nos tratamentos SI e DP, maior na ureia em 2DP e não houve diferença para 3DP

Tabela 2. Comparação de médias para estoque de carbono na primeira camada avaliada para a interação significativa entre inoculação e fontes de nitrogênio no consórcio de milho e cana-de-açúcar.

	Nitrato	Ureia
SI	35.18 a	15.10 b
DP	15.75 a	28.64 b
2DP	14.83 b	37.54 a
3DP	25.00 a	19.73 a

Medias iguais na linha não se diferenciam entre as fontes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O comportamento das doses de inoculante apresentou resposta quadrática crescente com o uso de nitrato, enquanto com ureia a tendência foi quadrática decrescente (Figura 1). Esses padrões indicam que o nitrato favorece a manutenção e o incremento de carbono com maiores doses, enquanto a ureia pode induzir perdas em função de volatilização e menor eficiência de aproveitamento pelo sistema.

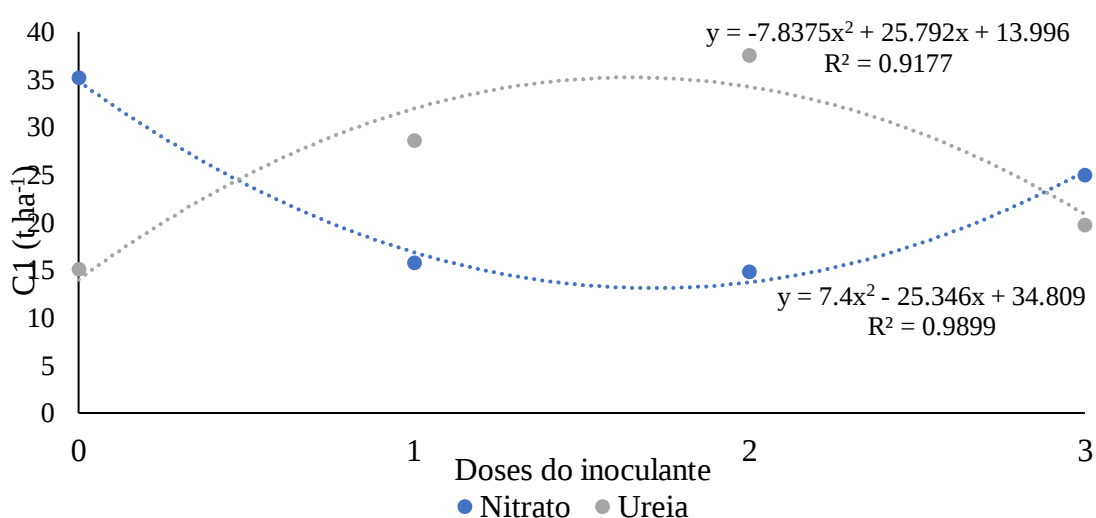


Figura 1. Gráfico de regressão para o efeito significativo doses do inoculante para estoque de carbono na primeira camada no consórcio de milho e cana-de-açúcar.

Na segunda camada, os tratamentos com doses 3DP, 2DP e DP apresentaram mesmo estoque de carbono, independente da fonte de nitrogênio (Tabela 3). Entretanto, com a utilização de nitrato sem inoculação apresentou maior estoque.

Tabela 3. Comparação de médias para estoque de carbono na segunda camada avaliada para a interação significativa entre inoculação e fontes de nitrogênio no consórcio de milho e cana-de-açúcar.

	Nitrato	Uréia
SI	32.13 a	15.84 b
DP	17.16 a	23.72 a
2DP	20.79 a	24.44 a
3DP	22.90 a	75.71 a

Medias iguais na linha não se diferenciam entre as fontes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Assim como observado na camada superficial, o comportamento foi quadrático, com tendência de aumento para o nitrato e ureia (Figura 2). Esse padrão sugere que a inoculação associada aos adubos nitrogenados pode estimular maior deposição de carbono em camadas subsuperficiais, possivelmente via maior crescimento radicular e exsudação.

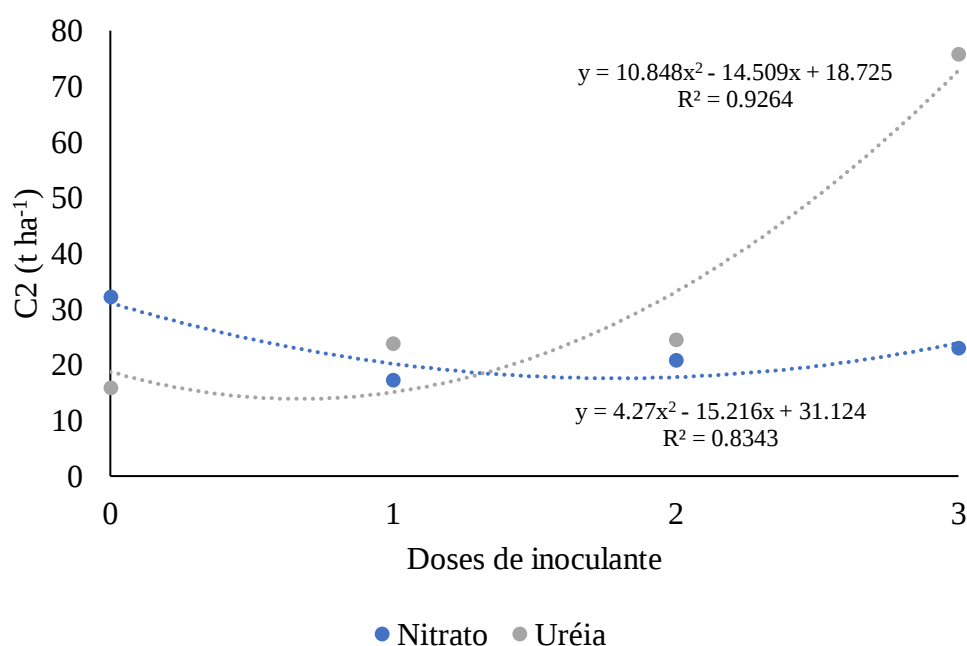


Figura 2. Gráfico de regressão para o efeito significativo doses do inoculante para estoque de carbono na segunda camada no consórcio de milho e cana-de-açúcar.

Na terceira camada, a fonte nitrato associada às doses 3DP e SI apresentou os maiores valores de estoque de carbono (Tabela 4). Por outro lado, quando utilizada ureia, o tratamento DP apresentou maior estoque. 2DP não houve diferença entre as fontes de nitrogênio.

Tabela 4. Comparação de médias para estoque de carbono na segunda camada avaliada para a interação significativa entre inoculação e fontes de nitrogênio no consórcio de milho e cana-de-açúcar.

	Nitrato	Ureia
SI	32.97 a	15.10 b
DP	18.27 b	32.90 a
2DP	20.31 a	19.14 a
3DP	23.92 a	16.50 b

Medias iguais na linha não se diferenciam entre as fontes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O comportamento das doses foi novamente quadrático (Figura 3), confirmando a tendência redução com ureia também em profundidade. Esse resultado é particularmente relevante, uma vez que o acúmulo de carbono em camadas mais profundas contribui para maior estabilidade e sequestro de longo prazo.

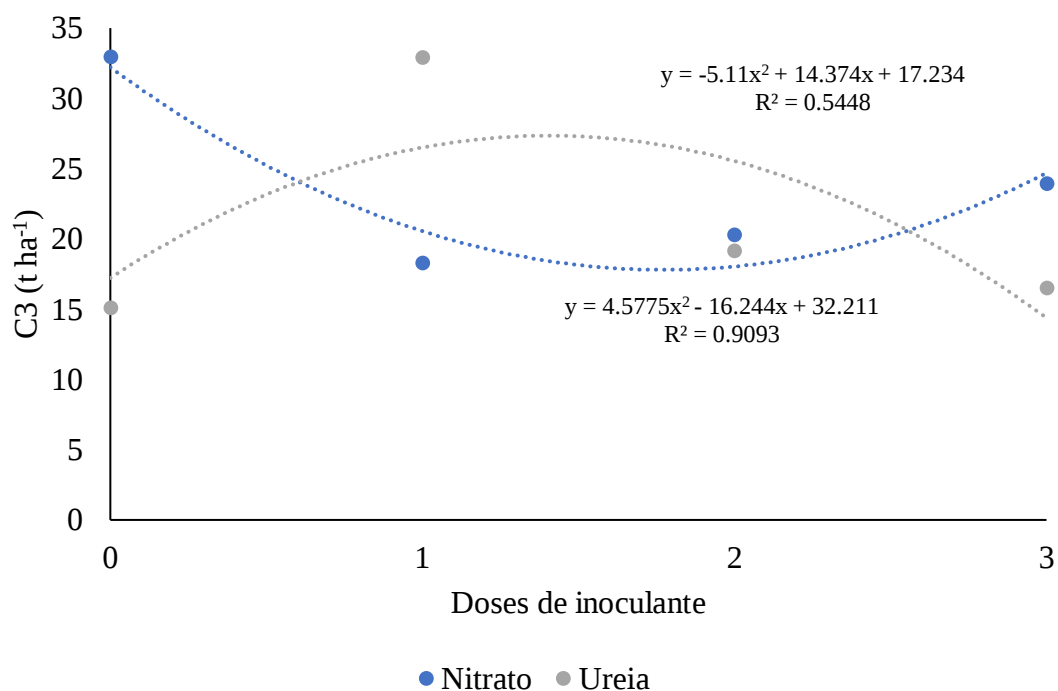


Figura 3. Gráfico de regressão para o efeito significativo doses do inoculante para estoque de carbono na terceira camada no consórcio de milho e cana-de-açúcar.

A análise de componentes principais (Figura 4) mostrou que, em relação às fontes de nitrogênio, os vetores C1 e C3 se posicionaram próximos, reforçando a existência de uma relação estreita entre eles, enquanto C2 se manteve paralelo em outro quadrante, indicando menor associação. Quando consideradas as doses de inoculação, C1 e C3 mantiveram proximidade entre si e maior relação com os tratamentos 2DP e DP, enquanto C2 apresentou maior associação com 3DP e SI. Esse arranjo sugere que diferentes combinações de doses de inoculante modulam de maneira distinta os padrões de acúmulo de carbono, refletindo tanto nos estoques superficiais quanto em profundidade.

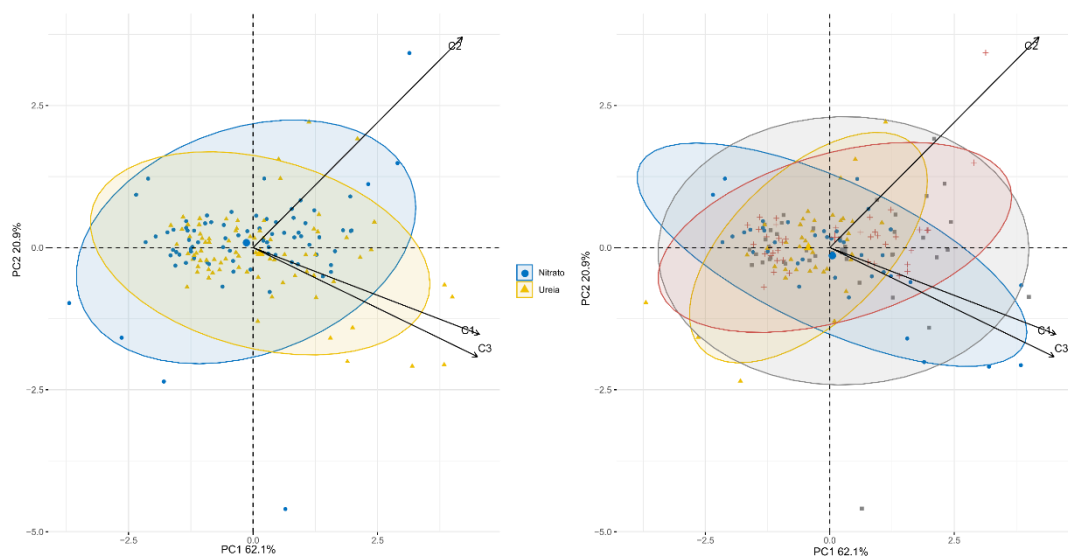


Figura 4. Análise de componentes principais para as variáveis estoque de carbono em diferentes camadas em função das fontes e doses de inoculação.

A utilização de ureia tende a elevar perdas e acelerar fluxos de C no solo, o que pode reduzir o seu acúmulo ao longo do tempo. A hidrólise da ureia aumenta o pH na microzona do grânulo, favorecendo volatilização de NH_3 e, em muitos cenários, maior emissão de CO_2 , diminuindo a eficiência de uso de N e potencialmente a retenção de C em frações estáveis (Motasim et al., 2024). Em contraste, nitrato tende a sincronizar melhor o N disponível com a absorção radicular, especialmente quando há boa distribuição no perfil, o que sustenta crescimento radicular e exsudação que são rotas importantes que contribuem para a entrada de C no sistema solo Zayed et al. (2023).

Doses mais altas de inoculante elevaram o estoque de C, em particular quando utilizado o nitrato, corrobora com achados de que biofertilizantes e inoculação rizóbica aumentam produtividade, biomassa/raiz, atividade enzimática e melhoram propriedades do solo, elevando o aporte de resíduos e exsudatos, elementos que contribuem para maior estoque de carbono no solo Just et al. (2024), e Ma et al. (2024). Os autores reforçam que o uso de biofertilizantes aumentam a concentração de estoque de carbono em relação ao controle, trabalhos com rizóbio reportam melhoria de atributos químicos e da microbiota do solo Mpongwana et al. (2024). Isso sustenta os achados do trabalho quanta a respostas quadráticas positivas com nitrato sob inoculação.

Camadas em profundidades acumulam formas de C mais estáveis a longo prazo sendo relevante para sequestro. Assim, quando o manejo (nitrato + inoculação) promove crescimento radicular e exsudação em profundidade, o ganho de carbono em

profundidade tende a ser mais persistente Hicks Pries et al. (2023). Além das perdas por volatilização e possíveis pulsos de mineralização na superfície, há evidências de que doses padrão de N mineral podem intensificar CO₂ do solo e alterar comunidades microbianas de forma nem sempre favorável à estabilização de C em profundidade Khan et al. (2024). Isso justifica o padrão quadrático decrescente com ureia nas três camadas e com a menor média em SI na terceira camada.

Os valores obtidos neste estudo para o estoque de carbono orgânico do solo encontram-se dentro dos limites reportados pelo MapBiomass Brasil e por estudos nacionais sobre o bioma Cerrado. De acordo com o MapBiomass, o estoque médio de carbono na camada de 0–30 cm é de aproximadamente 39 t C ha⁻¹ em áreas naturais e 49 t C ha⁻¹ em áreas agrícolas. Além disso, a literatura evidencia ampla variação dos estoques de carbono conforme o uso e o manejo do solo, com valores típicos variando de cerca de 10 a mais de 80 t C ha⁻¹, sendo a maioria dos registros concentrados entre 20 e 60 t C ha⁻¹. Dessa forma, os resultados obtidos neste trabalho estão em consonância com a faixa observada para o Cerrado, corroborando a consistência dos dados e a representatividade das estimativas em relação aos valores regionais reportados.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que o uso do nitrato como fonte de nitrogênio associado a doses mais elevadas de inoculante favorece o acúmulo de carbono no solo, especialmente em camadas subsuperficiais.

REFERENCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Gebruder Borntraeger Verlagsbuchhandlung.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. VAN. Determinação da matéria orgânica. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*, v. 9, p. 173–180, 2001. Instituto Agronômico Campinas.
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, v. 103, n. 2, p. 342–349, 2009. Elsevier.
- GALINDO, F. S.; PAGLIARI, P. H.; FERNANDES, G. C.; et al. Improving sustainable field-grown wheat production with *Azospirillum brasilense* under tropical conditions: a potential tool for improving nitrogen management. *Frontiers in environmental science*, v. 10, p. 821628, 2022. Frontiers Media SA.

- GERKE, J. The central role of soil organic matter in soil fertility and carbon storage. *Soil Systems*, v. 6, n. 2, p. 33, 2022. MDPI.
- HICKS PRIES, C. E.; RYALS, R.; ZHU, B.; et al. The deep soil organic carbon response to global change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 54, n. 1, p. 375–401, 2023. Annual Reviews.
- JEHANI, M. D.; SINGH, S.; KUMAR, D.; KUMAR, G. *Azospirillum*—a free-living nitrogen-fixing bacterium. *Rhizobiome*. p.285–308, 2023. Elsevier.
- JUST, B. S.; MARKS, E. A. N.; ROQUER-BENI, L.; et al. Biofertilization increases soil organic carbon concentrations: Results of a meta-analysis. *International Journal of Agricultural Sustainability*, v. 22, n. 1, p. 2361578, 2024. Taylor & Francis.
- KHAN, M. I.; SARFRAZ, R.; KIM, T.; et al. Partitioning carbon dioxide emissions from soil organic matter and urea in warm and cold cropping seasons. *Atmospheric Pollution Research*, v. 15, n. 2, p. 101995, 2024. Elsevier.
- MA, Y.; SUO, Y.; QI, H.; TANG, F.; WANG, M. Effects of *Rhizobium* Inoculation on Rhizosphere Soil Microbial Communities, Physicochemical Properties, and Enzyme Activities in Caucasian Clover Under Field Conditions. *Agronomy*, v. 14, n. 12, p. 2880, 2024. MDPI.
- MOTASIM, A. M.; SAMSURI, A. W.; NABAYI, A.; et al. Urea application in soil: Processes, losses, and alternatives—A review. *Discover Agriculture*, v. 2, n. 1, p. 42, 2024. Springer.
- MPONGWANA, S.; MANYEVERE, A.; MUPANGWA, J.; MASHAMAITE, C. V. Improving soil fertility through dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* on a eutric cambisol cultivated with forage legumes in a semi-arid region. *Heliyon*, v. 10, n. 2, 2024. Elsevier.
- SALDANHA, C. B.; EMRICH, E. B.; NEGRÃO, E. N. M.; CASTIONI, G. A. F. *Ciência do solo: fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas*. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional SA, 2016.
- DOS SANTOS, M. A.; ATHAYDE, R. P.; DA SILVA, T. C.; et al. Aspectos da produção, utilização e fatores determinantes da qualidade do feno: uma revisão de literatura. *Caderno Pedagógico*, v. 22, n. 9, p. e18536–e18536, 2025.
- DO SUL, C. D. E. C. Fontes e doses de nitrogênio associado a doses de *Azospirillum* sp. na emissão de CO₂ e na produção de milho no sistema de consórcio milho e cana-de-açúcar. .
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. , 2017. Brasília: Embrapa.
- TEODORO, P. E.; ROSSI, F. S.; TEODORO, L. P. R.; et al. Soil CO₂ emissions under different land-use managements in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 434, p. 139983, 2024. Elsevier.

ZAYED, O.; HEWEDY, O. A.; ABDELMOTELEB, A.; et al. Nitrogen journey in plants: From uptake to metabolism, stress response, and microbe interaction. *Biomolecules*, v. 13, n. 10, p. 1443, 2023. MDPI.