

STATUS HÍDRICO E OSMOPROTEÇÃO DO MILHO EM SISTEMA DE CULTIVO CONSORCIADO COM FEIJÃO-CAUPI

Isadora Êdua da Silva Lima Lucena¹, Ana Célia Meireles Oliveira², Carlos Wagner Oliveira²,
Jefferson de Sales Diodato¹, Jaqueline de Melo Santos Silva³, Sirleide Maria de Menezes⁴

RESUMO: Cultivos consorciados, como o de gramíneas forrageiras e feijão-caupi, são alternativas sustentáveis que melhoram a ciclagem de nutrientes e as características do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar o status hídrico e osmoprotetor do milho consorciado com feijão-caupi. O estudo foi desenvolvido no Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da Universidade Federal do Cariri (UFCA), no Crato, CE, no período de maio a agosto de 2024. As espécies utilizadas foram o milho cv. BRS 2022 e o feijão-caupi. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, em fatorial 9 x 2, com três repetições, sendo os fatores o tempo (28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77 e 84 dias após a semeadura), e o sistema de cultivo (solteiro e/ou consorciado). Foram analisadas a transpiração, o conteúdo relativo de água foliar e o conteúdo de prolina das plantas de milho. A transpiração e o conteúdo relativo de água milho reduziram com o tempo. O conteúdo de prolina aumentou significativamente, indicando uma resposta adaptativa das plantas à condição de déficit hídrico. Estudos futuros podem elucidar lacunas existentes sobre as relações interespecíficas em cultivos consorciados, visando estabelecer manejos de cultivos produtivos e sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Cultivo complementar, relações hídricas, irrigação de salvação.

WATER STATUS AND OSMOPROTECTION OF CORN IN AN INTERCROPPED CROPPING SYSTEM WITH COWPEA

ABSTRACT: Intercropping, such as forage grasses and cowpea, is a sustainable alternative that improves nutrient cycling and soil characteristics. The objective of this study was to evaluate the water and osmoprotective status of corn intercropped with cowpea. The study was

¹ Mestrandos em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), CCAB/UFCA, Crato, CE;

² Docentes do curso de Agronomia, CCAB/UFCA, Crato, CE;

³ Discente de Agronomia, CCAB/UFCA, Crato, CE;

⁴ Pós-Doutoranda, PRODER/CCAB/UFCA, CEP: 63130-025, Crato, CE, sirleidemeneses@hotmail.com.

conducted at the Center for Agricultural Sciences and Biodiversity (CCAB) of the Federal University of Cariri (UFCA), in Crato, CE, from May to August 2024. The species used were corn cv. BRS 2022 and cowpea. The experiment was conducted in a randomized complete block design, in a 9 x 2 factorial design, with three replicates. The factors were time (28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, and 84 days after sowing) and cropping system (single and/or intercropped). Transpiration, relative leaf water content, and proline content of corn plants were analyzed. Transpiration and relative leaf water content decreased over time. Proline content increased significantly, indicating an adaptive response of the plants to water deficit conditions. Future studies may elucidate existing gaps in interspecific relationships in intercropping, aiming to establish productive and sustainable crop management.

KEYWORDS: Complementary cultivation, water relations, rescue irrigation.

INTRODUÇÃO

É característico de regiões áridas e semiáridas apresentarem grande irregularidade pluviométrica, levando a longos períodos de estiagem com incidência de altas temperaturas. Nessas regiões, a estabilidade da agricultura de sequeiro é limitada, devido a variações espaço-temporais nas chuvas (Mbava et al., 2020), que provoca períodos intensos de déficit hídrico, limitando a produção agrícola, a pecuária e o desenvolvimento econômico (Raza et al., 2021). Além disso, estas características climáticas reduzem a disponibilidade de água em quantidade e qualidade, devido à salinização do solo e da água (Jardim et al., 2020).

A agricultura irrigada consome a maior parte da água disponível e é a primeira a sofrer com a escassez, resultando em uma menor produção de alimentos por pessoa (Bonfante et al., 2018). Assim, a agricultura moderna enfrenta o desafio crucial de otimizar o uso da água, o qual está sendo enfrentado com o auxílio de tecnologias avançadas. Dentre tais tecnologias, podemos citar o consórcio de plantas. Pois se baseia na diversificação das atividades através de atitudes ecológicas, econômicas e sociais. O consórcio agrícola envolve o cultivo simultâneo de duas ou mais espécies vegetais com estruturas e ciclos fenológicos diferentes em uma mesma área, não necessariamente semeadas na mesma época (Santos et al., 2025).

Os cultivos consorciados apresentam importância em regiões semiáridas devido ao ganho em alimentação para os animais ao possibilitar uma maior variedade de pasto, melhor aproveitamento da terra ao utilizá-la para reprodução de mais de uma espécie e diversidade de culturas agrícolas tendo em vista o plantio de mais de uma espécie em um mesmo solo (Stanciu,

2025). A utilização de gramíneas e leguminosas em sistema consorciado apresenta diversas vantagens, tais como um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, aumento na eficiência na utilização de água e a minimização dos riscos de quebra de produtividade (Stanciu, 2025). Sendo o uso de leguminosas preferível devido a capacidade de produção de biomassa associada a micro-organismos presentes no solo, como as bactérias que fixam nitrogênio e carbono, o que eleva a ciclagem dos nutrientes do solo (Cirino Júnior et al., 2023).

No semiárido brasileiro o sistema de consórcio milho e feijão tem uma grande importância sociocultural, tornando estas, as duas principais culturas implantadas nessa região (Araújo et al., 2017). Buscando compreender as relações interespecíficas entre a cultura do milho e do feijão-caupi, e verificar quais os efeitos do cultivo consorciado sobre as culturas, objetivou-se com trabalho, avaliar o status hídrico e osmoprotetor do milho consorciado com feijão-caupi.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na área experimental do Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da Universidade Federal do Cariri (UFCA), no Crato, CE, no período de maio a agosto de 2024. O clima da região é classificado como tropical quente, semiárido brando e tropical quente sub-úmido (Sousa, 2019). Um resumo das variáveis climáticas para o período, está apresentado na Tabela 1. O conjunto de dados foi obtido numa estação meteorológica automática (EMA), instalada à 60 m da área experimental.

Tabela 1. Dados de temperatura do ar máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}), e média (T_{méd}); umidade relativa do ar máxima (UR_{máx}), mínima (UR_{mín}), e média (UR_{méd}); velocidade do vento (V), radiação global (Rs) e precipitação (P), referentes ao período de maio a agosto de 2024

Valor	<u>T_{máx}</u> ----- °C -----	<u>T_{mín}</u> ----- °C -----	<u>T_{méd}</u> ----- °C -----	<u>UR_{máx}</u> ----- % -----	<u>UR_{mín}</u> ----- % -----	<u>UR_{méd}</u> ----- % -----	<u>V</u> ----- m s ⁻¹ -----	<u>Rs</u> ----- MJ m ⁻² d ⁻¹ -----	<u>P</u> ----- mm -----
Maior	34,4	27,6	29,0	99,3	65,6	87,3	2,5	29,2	10,2
Menor	28,3	15,6	23,7	54,3	31,0	49,0	0,3	12,4	0,0
Média	31,6	20,4	25,4	87,5	48,5	69,1	1,0	19,8	0,6
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	56,6

As espécies utilizadas foram o milho cv. BRS 2022 e o feijão-caupi de variedade crioula. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, em fatorial 9 x 2, com três repetições, sendo o primeiro fator o tempo (28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77 e 84 dias após a semeadura), e o segundo fator o sistema de cultivo (solteiro e/ou consorciado). O milho foi conduzido em sistema de cultivo solteiro e em consórcio com o feijão-caupi.

As parcelas experimentais tinham dimensões de 4,8 x 3 m de comprimento e largura, respectivamente, com área de 14,4 m², contendo 5 linhas de plantas espaçadas a 0,60 m e 0,45 m entre plantas, total de 60 plantas por parcela. Para o cultivo consorciado, as diferentes espécies foram intercaladas na linha de planta, totalizando 30 plantas de cada espécie por parcela.

A área de útil da parcela consistiu nas 3 linhas de plantas centrais, desconsiderando a bordadura. O solo da área experimental é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto e típico (FUNCEME, 2012). As características químicas e físicas do solo antes da implantação do experimento, determinadas analiticamente, encontram-se apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo, Crato, CE

Química												
pH	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	t	V	M.O.
H ₂ O	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----					g kg ⁻¹
4,8	3,0	0,68	0,37	0,00	0,10	0,2	2,08	1,15	1,35	3,23	36	3,8
Física												
Areia	Silte	Argila	Textura	Ds	Dp	θ _{cc}						
-----g kg ⁻¹ -----			-	-----kg dm ⁻³ -----		-----m ³ m ⁻³ -----						
837,53	31,75	130,72	Areia franca	1,52	2,82	0,43						

*SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; V: Saturação por bases; M.O: Matéria Orgânica; Ds: Densidade do Solo; Dp: Densidade de Partículas; θ: Umidade Volumétrica.

Com finalidade de elevar o pH e os teores de Ca²⁺ e Mg⁺, bem como neutralizar o Al³⁺ trocável do solo, foi realizada uma calagem com calcário dolomítico na dose de 700 kg ha⁻¹, nove meses antes do plantio. A semeadura ocorreu no dia 7 de maio de 2024, deixando-se três sementes por cova para garantir a germinação. Posteriormente foi realizado um desbaste, deixando-se uma planta por cova. A nutrição foi realizada por meio da aplicação de 21 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 72 kg ha⁻¹ de fósforo e 63 kg ha⁻¹ de potássio.

O fornecimento hídrico foi realizado por meio de um sistema de irrigação localizado por gotejamento, aplicando-se uma lâmina constante de 4,2 mm por evento, em dias aleatórios, com finalidade de manter a estabilidade do estande de plantas. Configurando-se como irrigação de salvação, tal como realizado por produtores locais, que produzem em condições de sequeiro.

As variáveis analisadas foram o conteúdo relativo de água (CRA), a taxa de transpiração (E) foliar das plantas, e o conteúdo de prolina. O CRA foi obtido pelo método de Machado & Paulsen (2001), usando a relação entre a diferença de massa fresca e seca com a diferença de

massa fresca e seca de 10 discos foliares coletados com a ajuda de um perfurador de papel, sempre na segunda folha completamente expandida de cada planta, segundo equação 1.

$$CRA = \left[\frac{(MT-MS)}{(MF-MS)} \right] \times 100 \quad (1)$$

Onde: MF = Massa fresca da amostra, g; MS = Massa seca da amostra, g, obtida em estufa de circulação de ar forçado, à 60 °C por um período de 48 horas; MT = Massa turgida da amostra, g, obtida após os discos foliares terem sido totalmente hidratados em água destilada por 24 horas.

A E das plantas foi estimada por porometria, utilizando-se um porômetro simples da marca Decagon Devices. As leituras foram realizadas no horário da manhã, sempre na segunda folha completamente expandida de cada planta, de forma aleatória, dentro da área útil da parcela. As análises para obtenção do CRA e da E foram realizadas aos 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77 e 84 DAS. Já a concentração de prolina foi determinada aos 29, 62 e 90 DAS, segundo metodologia descrita por Bates et al. (1973), utilizando extratos etanólicos preparados com 200 mg de folhas frescas, e leituras realizadas em um espectrofotômetro a 520 nm, usando o tolueno como branco.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p < 0,05$), utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). Quando constatado efeito significativo dos fatores, esses foram avaliados mediante análise de regressão polinomial e teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Os gráficos foram confeccionados no Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (Tabela 1), houve efeito significativo de forma isolada do fator tempo para as variáveis E, CRA e para conteúdo de prolina na cultura do milho ($p \leq 0,01$).

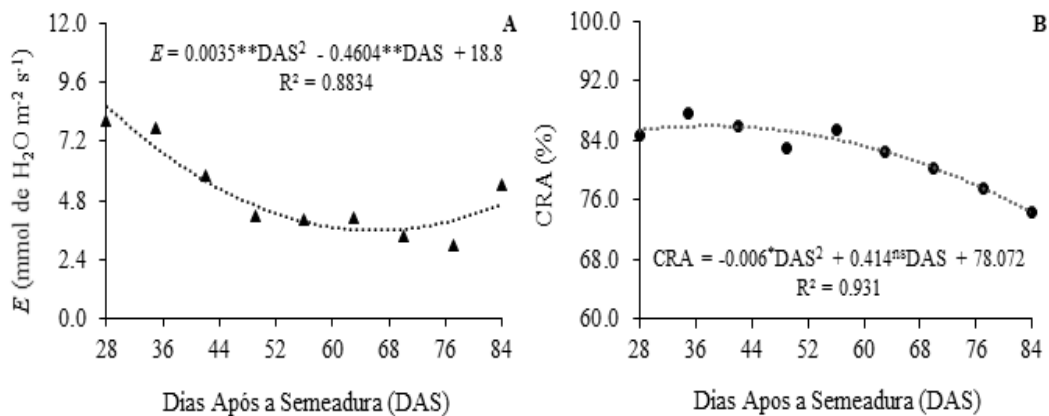
Tabela 3. Análise de variância para as variáveis Transpiração (E), conteúdo relativo de água (CRA) e prolina da cultura do milho nos diferentes sistemas de cultivos e ao longo do tempo.

FV	GL	Quadrado Médio	
		E	CRA
Sistema de Cultivo (SC)	1	3,044 ^{ns}	9,559 ^{ns}
Tempo (DAS)	8	19,991 ^{**}	111,791 ^{**}
SC x DAS	8	1,397 ^{ns}	14,410 ^{ns}
Repetição	2	2,975 ^{ns}	16,583 ^{ns}
Resíduo	34	1,570	25,253
CV	%	24,68	6,11

FV	GL	Quadrado Médio
		Prolina
Sistema de Cultivo (SC)	1	10,734 ^{ns}
Tempo (DAS)	2	82,682 ^{**}
SC x DAS	2	2,611 ^{ns}
Repetição	2	2,588 ^{ns}
Resíduo	10	3,368 ^{ns}
CV	%	22,76

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade.

Por meio da Figura 1A, constata-se que a E reduziu ao longo do tempo. O máximo valor de E foi de 8,65 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹ obtido aos 28 DAS, enquanto aos 66 DAS obteve-se o menor valor de 3,65 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹, revelando uma redução de 58%. A queda acentuada na transpiração sugere que as plantas estavam sob estresse hídrico. Os dados corroboram com o estudo de Torun et al. (2024), mostrando que o estresse hídrico e/ou térmico afeta negativamente as plantas, reduzindo sua capacidade de transpiração e, conseqüentemente, seu metabolismo e sobrevivência.

**Figura 1.** Transpiração (E) (A) e conteúdo Relativo de Água (CRA) (B) das plantas de milho em função do tempo.

De modo similar, Oliveira et al. (2023) notaram que sob estresse hídrico, a fotossíntese é afetada principalmente em função do fechamento estomático. Cruz et al. (2023), também destacam que o fechamento estomático é uma das primeiras estratégias de adaptação ao déficit

hídrico, reduzindo a perda de água, mas também limitando a absorção de CO₂ e, consequentemente, a fotossíntese.

Para a variável CRA (Figura 1B), o máximo valor de 85 obtido aos 28 DAS, valor esse 17% maior em relação à última leitura (84 DAS). O CRA é um importante indicador do estado hídrico da planta, e sua redução pode causar perda de turgidez celular e afetar diretamente os processos fisiológicos, uma vez que estão diretamente ligados ao estresse hídrico (Qayyum et al., 2021). Assim, as reduções do CRA observadas nos gráficos acima, é um reflexo da perda de turgor pela disponibilidade limitada de água ao longo do tempo, reprimindo processos como expansão celular (Katerji et al., 1997).

A variação do conteúdo de prolina em plantas de milho está representado na Figura 2. Constata que o conteúdo de prolina apresentou incremento de 5,73% entre os dias 29 e 62, seguido por acréscimo de 114,40% no período de 62 a 90 dias.

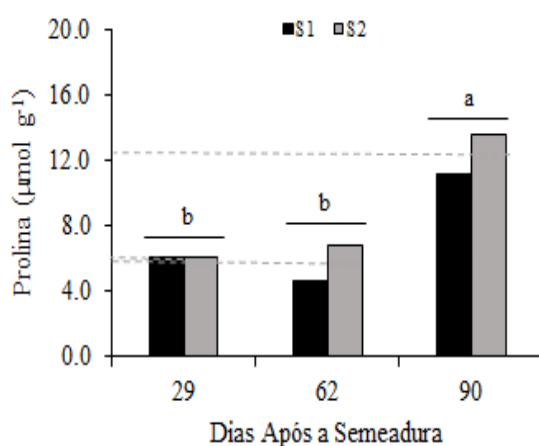


Figura 2. Conteúdo de prolina nas plantas de milho em função do tempo. Letras diferentes representam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Linhas tracejadas representam a média para cada data estudada.

A prolina é um aminoácido essencial no mecanismo de defesa das plantas contra estresses abióticos, como seca, salinidade e temperaturas extremas (Trovato et al., 2019). Seu acúmulo é frequentemente associado à manutenção da integridade de membranas e na eliminação de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) (Ali et al., 2017).

Esse aumento progressivo na concentração de prolina sugere uma resposta fisiológica comum às duas culturas, atuando como um mecanismo de proteção celular contra os danos causados pela deficiência hídrica. O aumento significativo nos níveis de prolina nas plantas de milho em condições de estresse, demonstram a capacidade dessa cultura em modular seu metabolismo para tolerar adversidades ambientais (Zhao et al., 2017).

CONCLUSÕES

A transpiração e o conteúdo relativo de água milho reduziram com o tempo em todos, refletindo o aumento do estresse pela restrição hídrica bem como ao aumento da competição interespecífica entre as espécies consorciadas. O conteúdo de prolina aumentou significativamente, indicando uma resposta adaptativa das plantas à condição de déficit hídrico. Estudos futuros podem buscar maiores explicações sobre as relações interespecíficas em cultivos consorciados, visando estabelecer manejos de cultivos produtivos e sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao grupo de pesquisa LEMGE (Laboratório de Estatística, Modelagem e Geoprocessamento) e a Universidade Federal do Cariri (CCAB/UFCA, Crato, CE) pelo apoio, orientação e logística na realização dos trabalhos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo seu apoio financeiro aos bolsistas participantes desta pesquisa e ao PROJETO: Edital n.162022, PDPG – Pós-doutorado Estratégico.

REFERÊNCIAS

- Ali, F.; Bano, A.; Fazal, A. Recent methods of drought stress tolerance in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 82, n. 3, p. 363-375, 2017.
- Araújo, A. K.; Araújo Filho, J. A.; Maranhão, S. R. Consórcios de milho, feijão e mandioca em presença de bagana de carnaúba em um argissolo no litoral norte do Ceará sob condições de sequeiro. **Essentia**, v. 18, n. 1, p. 1-23, 2017.
- Bates, L. S.; Waldren, R. P. A.; Teare, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.
- Bonfante, A.; Basile, A.; Langella, G.; Manna, P.; Terribile, F. Soil science solutions for advancing SDG 2 towards resilient agriculture. **Soil and Sustainable Development Goals; Schweizerbart Science Publishers**, v. 196, p. 235465e, 2018.

Cirino Júnior, B.; Souza, J. C. G.; Maciel, L. H.; Carmo, E. P.; Souza, C. M. P. G.; Alcântara, E. B.; Oliveira, A. C. Utilização de molibdênio no consórcio sorgo e feijão-caupí irrigado em ambiente semiárido. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 2, p. 1838-1852, 2023.

Cruz, N. T.; Porto, E. M. V.; Ramos, B. L. P.; Santos, H. P.; Seixas, A. A.; Santos, A. P. D. S. Drought stress in forage plants: a brief review. **Revista Científica Rural**, v. 25, n. 1, p. 221-238, 2023.

Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos-Mesorregião do Sul Cearense**. 2012.

Jardim, A. M. R. F.; Silva, T. G. F.; Souza, L. S. B.; Souza, M. S. Interaction of agroecosystem intercropped with palm-sorghum in a semiarid environment: a review. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.5, n.1, p. 069-087, 2020.

Katerji, N.; Van Hoorn, J. W.; Hamdy, A.; Mastroilli, M.; Karzel, E. M. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. **Agricultural water management**, v. 34, n. 1, p. 57-69, 1997.

Machado, S.; Paulsen, G. M. Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum. **Plant Soil**, v. 233, p. 179-187, 2001.

Mbava, N.; Mutema, M.; Zengeni, R.; Shimelis, H.; Chaplot, V. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 228, p. 105878, 2020.

Oliveira, V. K. N.; Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Lacerda, C. F.; Azevedo, C. A. V.; Nobre, R. G.; Chaves, L. H. G.; Fernandes, P.D.; Lima, V. L. A. Foliar Application of Salicylic Acid Mitigates Saline Stress on Physiology, Production, and Post-Harvest Quality of Hydroponic Japanese Cucumber. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 395, 2023.

Qayyum, A.; Al Ayoubi, S.; Sher, A.; Bibi, Y.; Ahmad, S.; Shen, Z.; Jenks, M. A. Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 9, p. 5238-5249, 2021.

Raza, M. A.; Gul, H.; Wang, J.; Yasin, H. S.; Qin, R.; Bin Khalid, M. H.; Naeem, M.; Feng, L. Y.; Iqbal, N.; Gitari, H.; Ahmad, S.; Battaglia, M.; Ansar, M.; Yang, F.; Yang, W. Land productivity and water use efficiency of maize-soybean strip intercropping systems in semi-arid areas: A case study in Punjab Province, Pakistan. **Journal of Cleaner Production**, v. 308, n. 4, p. 127282, 2021.

Santos, L. O.; Pinheiro, S. L.; Gomes, E. M.; Santos, C. S. Desafios e potencialidades dos sistemas orgânicos e consorciados na produção de hortaliças: uma perspectiva socioeconômica e ambiental. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 7, n. 1, p. 1-14, 2025.

Stanciu, A. S. Sustainable forage yield improvement through perennial grass–legume intercropping in degraded grasslands. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 49, n. 2, p. 215-241, 2025.

Sousa, S. G. Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica na Região Metropolitana do Cariri (Ce), Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 63, n. 2, p. 273-294, 2019.

Torun, H.; Coccozza, C.; Petrik, P.; Stojnic, S. Combined abiotic interactions in woody plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1455459, 2024.

Trovato, M.; Forlani, G.; Signorelli, S.; Funck, D. Proline metabolism and its functions in development and stress tolerance. In: **Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants: recent advances and future perspectives**. Cham: Springer International Publishing, 2019. 41-72p.

Zhao, C.; Liu, B.; Piao, S.; Wang, X.; Lobell, D. B.; Huang, Y.; Asseng, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of sciences**, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 2017.