



IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NO TOCANTINS

Deivison Santos¹, Leonardo José Motta Campos², Alexandre Barreto Almeida dos Santos³,
Raiane Silva Moura Macedo⁴, Daniel Pettersen Custódio⁵

RESUMO: A produção de sementes de soja é uma atividade importante para a região das Planícies Inundáveis do Rio Araguaia, no sudoeste do estado do Tocantins. Na safra 2021/22, foram cultivados 77 mil hectares com soja subirrigada, com produtividade de 2.612 kg ha⁻¹. Assim, foi realizada uma pesquisa para testar a hipótese de que o cultivo da crotalária antes da soja contribui para maiores produtividades e, a irrigação atendendo 85% ou 115% da demanda de evapotranspiração (ET) da planta de soja, contribui para uma maior produtividade de água. Foi utilizado um delineamento experimental em blocos casualizados com cinco repetições, com parcelas subdivididas. Os tratamentos consistiram na combinação dos fatores crotalária (presença ou ausência), nas parcelas, e taxa de reposição de evapotranspiração (85 e 115% da ET), nas subparcelas. O tratamento com crotalária apresentou melhor desempenho (4.475 kg ha⁻¹) do que o tratamento sem crotalária (3.781 kg ha⁻¹). Além disso, o tratamento que recebeu irrigação deficitária com 85% da ET resultou em uma produtividade de água 29% maior que o tratamento com 115% da ET.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo de água, produtividade da água, soja irrigada.

DEFICIT IRRIGATION FOR SOYBEAN PRODUCTION IN TOCANTINS

ABSTRACT: The production of soybean seed is an important activity for the region of Araguaia River Floodplains, in the southwest of Tocantins state. In 2021/22 season, were grown 77 thousand hectares with subirrigated soybean, with the yield of 2,612 kg/ha. Therefore, it was carried out a research to test the hypothesis that growing crotalaria before soybean contributes to higher yields and, the irrigation attending 85% or 115% of the soybean plant

¹ Pesquisador MSc., Embrapa Pesca e Aquicultura, Caixa Postal 90, CEP 77008-900, Palmas, TO. Fone (63) 3229 7862. E-mail: deivison.santos@embrapa.br

² Pesquisador PhD., Embrapa Soja, Londrina, PR

³ Professor MSc., Centro Universitário Católica do Tocantins, Palmas, TO

⁴ Engenheira Agrônoma, Palmas, TO

⁵ Analista, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

evapotranspiration (ET) demand contributes to higher water productivity. The experiment was a randomized complete block design with five replications, in a split-plot model. The treatments consisted of the combination of two factors: crotalaria (presence and absence), in the plots, and evapotranspiration replacement rate (85% and 115% of ET), in the subplots. The treatment with crotalaria had better performance (4,475 kg ha⁻¹) than the treatment without crotalaria (3,781 kg ha⁻¹). Furthermore, the treatment that received deficit irrigation with 85% ET resulted in a water productivity 29% higher than the treatment with 115% ET.

KEY WORDS: Water management, water productivity, irrigated soybean.

INTRODUÇÃO

A produção de sementes de soja é uma atividade importante para a região das Planícies Inundáveis do Rio Araguaia (PIRA), no sudoeste do estado do Tocantins. Na safra 2021/22 foram cultivados no Tocantins 77 mil ha de soja subirrigada, com produtividade de 2.612 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023).

Entre maio e setembro, período de cultivo da soja subirrigada, são verificadas as maiores temperaturas e déficit hídrico no Tocantins (NASA, 2023). Nesta época, o déficit hídrico somado a alta temperatura intensifica os efeitos destes estresses que, somados aos estresses bióticos (pragas e doenças), restringem a produção agrícola.

Em um contexto de mudanças climáticas, a ocorrência de anomalias e eventos extremos passa a ser mais provável e diversos estudos têm detectado os indicadores deste fenômeno (KONAPALA et al., 2020; CAEL et al., 2023; FARIAS & XAVIER, 2023; LE et al., 2023).

Segundo Sentelhas et al. (2016), 77% das perdas das produtividades potencial, atingível e real são relacionadas a déficit hídrico e 23% relacionadas a deficiência no manejo. Enquanto em estudo realizado por Santos et al. (2021) foi identificado que a região de Peixe-TO apresentou um déficit de produtividade (“yield gap”) de 2.953 kg ha⁻¹, que foi o segundo menor comparado às outras localidades do estado (Barreiras-BA, Rio Verde-GO e Cristalina-GO). O déficit de produtividade é obtido pela diferença entre a produtividade potencial e a atingível (VAN ITTERSUM et al., 2013; VAN WART et al., 2013a, 2013b, 2015; GRASSINI et al., 2015; VAN BUSSEL et al., 2015; YU et al., 2020).

O cultivo de plantas de cobertura tem diversas finalidades como melhorar atributos químicos e físicos do solo (NASCENTE et al., 2016; REIS et al., 2017), assim como para o controle de nematóides (CRUZ et al., 2020). As plantas do gênero *Crotalaria* são utilizadas

como uma opção em esquemas de rotação/sucessão de cultura, promovendo maiores produtividades do sistema de produção (MACHADO & GARCIA, 2021).

A irrigação deficitária fornece água às plantas em um nível sub ótimo, ou seja, em um volume menor do que o demandado pelas plantas, constituindo estratégia que busca incrementar a produtividade da água, que é a eficiência de conversão de água em alimento (kg m^{-3}), estabilizar a produção em regiões mais secas, economia de água devido à indisponibilidade hídrica decorrente de seca, redução de aquíferos ou mecanismos regulatórios, ou para refinar o manejo e buscar atender os estádios fenológicos mais exigentes em água (FRENCH & SCHULTZ, 1984; BESSEMBINDER et al., 2005; PAYERO et al., 2005; PASSIOURA, 2006; GEERTS & RAES, 2009; IRMAK et al., 2014; TORRION et al., 2014).

Dessa forma, foi realizada uma pesquisa para testar o efeito (i) do cultivo de crotalária antes da soja e; (ii) da reposição de 85% e 115% da demanda de evapotranspiração da soja sobre a produtividade de grãos (PG) e a produtividade da água (PA), utilizando-se um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial (SIGS).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo, em área comercial localizada em Porto Nacional-TO (-10.449172° , -48.338815° , 244 m ANM). O solo é um Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), com textura argilosa (57% areia total, 5% silte e 38% argila). O clima é classificado como tropical com inverno seco, Aw, (ALVARES et al., 2013), os dados climáticos são apresentados na Figura 1, a média anual de chuva é de 1.702 mm, a temperatura máxima, média e mínima são 30,6, 25,0 e 20,3 °C, respectivamente.

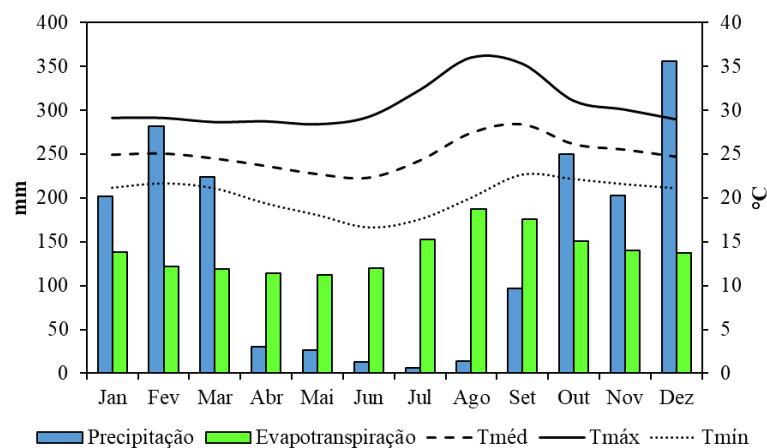


Figura 1. Clima do local do experimento, em Porto Nacional-TO. A evapotranspiração foi calculada pelo método de Hargreaves-Samani. Série histórica de 02/01/1981 a 31/12/2022. (NASA, 2023).

Foi utilizado um delineamento experimental em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram na combinação dos fatores crotalária antes da soja (presença ou ausência), nas parcelas, e taxas de reposição de evapotranspiração (85 e 115% da evapotranspiração), nas subparcelas.

Foram coletadas amostras de solo para análise química, na camada de 0-20 cm (Tabela 1), e amostras de solo indeformadas das camadas de 0 - 10 e 10 - 30 cm, para análise física e confecção da curva de retenção de água no solo (CRAS) pelo método das câmaras de Richards com placas porosas de cerâmica. Os dados obtidos em laboratório foram inseridos na plataforma online SWRC Fit (VAN GENUCHTEN, 2023) para a geração dos parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten (1980).

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental das amostras coletadas na camada de 0 a 20 cm.

Características químicas ¹	Teor verificado		Unidade
	Sem crotalária	Com crotalária	
pH	5,46	5,74	em CaCl ₂
V	57,17	62,97	
M.O.	1,67	1,95	%
m	2,81	0,00	
T	6,07	6,75	
Ca ²⁺	1,95	2,12	cmol _c dm ⁻³
Mg ²⁺	1,34	1,19	
Al ³⁺	0,1	0,00	
P	4,17	8,21	
K ⁺	70,31	89,84	
S-SO ₄ ⁻²	5,73	4,41	mg dm ⁻³
Fe	61,35	45,19	
Mn	5,78	7,62	
Cu	0,39	0,29	
Zn	2,19	3,15	

Extrator de P, K, Fe, Zn, Cu: Mehlich-1; Ca, Mg, Al: KCl 0,1 m; H+Al: SMP; S: Fosfato de Cálcio; B: Mehlich.

Foram instalados quatro tensiômetros para o monitoramento do potencial de água no solo, a 0,20 e 0,40 m de profundidade, dois na área coma lâmina correspondente a 85% da ET e dois na lâmina correspondente a 115% da ET, o que permitiu o manejo da irrigação por um sistema de controle de água automatizado. A vazão de água foi monitorada de forma individual para cada tratamento. As informações sobre o consumo de água foram fornecidas pelo medidor de vazão com telemetria, instalado na saída do bombeamento. Foi utilizado um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial (SIGS), enterrado a 0,27 m, com tubos gotejadores espaçados em 0,80 m e emissores com vazão de 0,001 m³ h⁻¹ a cada 0,40 m. A taxa de aplicação foi de 3,13 mm h⁻¹.

O manejo de irrigação foi realizado por meio do monitoramento do potencial hídrico do solo e do clima por meio da estação automática instalada na área, aplicando as lâminas

correspondentes às taxas de evapotranspiração dos tratamentos. Para este fim, foi confeccionada uma planilha eletrônica conforme Nascimento et al. (2012).

Na área sem crotalaria, os tratamentos que tiveram a reposição de 85 e 115% da ET receberam 376 e 534 mm de água via irrigação, respectivamente. Na área com crotalaria, os tratamentos que tiveram a reposição de 85 e 115% da ET receberam 395 e 534 mm de água via irrigação, respectivamente. Durante o período experimental, houve o registro de 39 mm de chuva, 668 mm de evapotranspiração e temperatura média de 26,1°C.

A semeadura da soja foi realizada em 03/06/2021, utilizando a cultivar Brasmax Domínio IPRO, com grupo de maturidade fisiológica de 8.4 e com ciclo de 114 dias na região. O espaçamento entre linhas foi de 0,475 m, e a taxa de semeadura de 15 sementes/m, resultando em uma população de 316 mil plantas hectare⁻¹. A correção e adubação foram feitos conforme Sousa & Lobato (2004). Realizou-se a adubação complementar, de forma equivalente e parcelada para todos os tratamentos, via fertirrigação.

Durante o cultivo da soja foi realizado o monitoramento de pragas e doenças, especialmente a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). O protocolo fitossanitário utilizado seguiu rigorosamente as recomendações da Agência de Defesa Agropecuária do Tocantins (ADAPEC).

A colheita foi realizada aos 124 dias após a semeadura (DAS). A produtividade foi obtida por meio da colheita das duas fileiras centrais de cada parcela, seguida da secagem e processamento das plantas para a obtenção dos grãos, corrigindo-se a umidade dos grãos para 13%. Também foram avaliados os componentes de produção da soja e a determinação da matéria seca total da área (kg MS ha⁻¹), para isso foram coletadas cinco plantas de cada parcela, de forma aleatória.

A produtividade da água de irrigação foi calculada pela razão entre a produtividade da soja e o volume de água aplicado em cada tratamento, por todo o ciclo da cultura (FRENCH & SCHULTZ, 1984; BESSEMBINDER et al., 2005; PASSIOURA, 2006).

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística, sendo testados os pressupostos de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk), homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett), que uma vez atendidos, realizou-se a ANAVA. Em caso de significância, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Para a análise de dados utilizou-se o suplemento para o software Microsoft® Excel® “Microsoft Office Home and Business 2013” Real Statistics Resource Pack (ZAIONTZ, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 elenca os resultados da análise de variância. A utilização de crotalária previamente ao cultivo de soja exerceu um efeito significativo sobre a produtividade da soja, na área com soja em sucessão a crotalária foi alcançada uma produtividade de 4.475 kg ha⁻¹, o que foi 16% maior do que a área cultivada com soja em sucessão ao pousio, que produziu 3.781 kg ha⁻¹. Houve efeito significativo do fator irrigação sobre a produtividade da água, os tratamentos que repuseram 85% da ET resultaram em uma produtividade da água de 1,08 kg m⁻³, o que foi 29% maior que o tratamento com a lâmina de 115% da ET, com 0,76 kg m⁻³.

Tabela 2. Análise de variância do efeito da crotalária (C) e de duas lâminas de irrigação (I, 85 e 115 % da evapotranspiração) na produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹) e da água (PA, em kg m⁻³).

Fator de variação	PG (kg ha ⁻¹)		PA (kg m ⁻³)	
(C)	9,31	*	6,82	ns
CV%	12,32		13,06	
(I)	0,17	ns	36,91	**
C x I	2,17	ns	1,93	ns
CV%	12,09		12,59	

NS: não significativo (P>0,05); *: significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)

Os resultados (Figura 2.A) superaram em 31% e 42%, respectivamente, a produtividade da soja subirrigada da safra 2021/22, que foi de 2.612 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). Em trabalho de Machado & Garcia (2021) realizou-se o consórcio de Crotalaria juncea e Crotalaria ochroleuca com gramíneas e obteve-se produtividades de soja 7 e 6%, superiores, respectivamente, à alcançada utilizando somente a rotação com gramínea. Estes autores atribuíram o ganho em produtividade às melhorias física e biológica do solo. Em trabalhos realizados por Nascente et al. (2016) e Reis et al. (2017), observou-se o efeito positivo da crotalária sobre atributos químicos do solo.

A análise química da área experimental (Tabela 1), indicou que a área que recebeu crotalária antes da soja apresentou teores de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e saturação de bases 14, 10 e 9% maiores do que os verificados na área em que não houve o cultivo de crotalária antes da soja, o que pode explicar os resultados superiores na produtividade de grãos obtidos no presente trabalho.

Produtividade da água (kg m⁻³)

Os resultados de produtividade da água de irrigação (Figura 2.B) obtidos no Tocantins superaram os resultados de Flach et al. (2020), que estimaram a produtividade da água entre 0,47 a 0,63 kg m⁻³ para um cenário com uso de irrigação e alto uso de insumos no Brasil. Os resultados se equipararam ao que foi obtido por Aydinsakir (2018) mediante o uso de irrigação

por gotejamento superficial em Anatólia, Turquia, que obteve produtividades de soja de 1.870 a 4.060 kg ha⁻¹, alcançando valores de produtividade de água variando entre 0,63 a 2,84 kg m⁻³. Em pesquisa realizada em Karaj, Irã, por Babazadeh & Tabrizi (2013), foram obtidos valores entre 0,53 kg m⁻³ e 1,12 kg m⁻³, foram semelhantes aos dados obtidos neste trabalho.

A estratégia de manejo de irrigação combinando o monitoramento climático e a tensão de água no solo permitiu o aporte de água de forma precisa, permitindo a imposição de um pequeno estresse, relativo à reposição de 85% da demanda de evapotranspiração, sem comprometer a produtividade e contribuindo para incrementar a produtividade de água de irrigação.

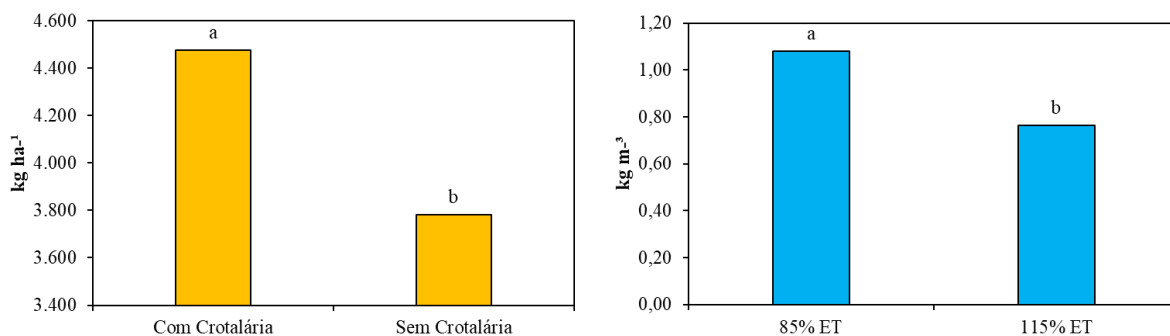


Figura 2. Resultados de produtividade de grãos (A) e produtividade da água (B) do experimento em Porto Nacional – TO.

CONCLUSÕES

- (i) A utilização de crotalária antes do cultivo da soja influenciou positivamente a produtividade de soja irrigada,
- (ii) A irrigação deficitária, com a reposição de 85% da evapotranspiração da cultura via irrigação por gotejamento subsuperficial, proporcionou maior eficiência de uso da água de irrigação.

AGRADECIMENTOS

A equipe agradece ao Sr. Roberto Caetano, da Fazenda Sucesso, por permitir a execução da pesquisa em sua área e ao Engenheiro Agrônomo Diego Cavalcante Fernandes, da empresa Toca Safra, pela cessão dos instrumentos utilizados para o manejo de irrigação e pelo custeio das análises de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- AYDINSAKIR, K. Yield and quality characteristics of drip-irrigated soybean under different irrigation levels. **Agronomy Journal**, [S. l.], v. 110, n. 4, p. 1473–1481, 2018. DOI: 10.2134/agronj2017.12.0748.
- BABAZADEH, H.; TABRIZI, M. S. Combined optimization of soybean water productivity and crop yield by multi-objective genetic algorithm (MOGA). **Irrigation and Drainage**, [S. l.], v. 62, n. 4, p. 425–434, 2013. DOI: 10.1002/ird.1743. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ird.1743>>.
- BESSEMBINDER, J. J. E.; LEFFELAAR, P. A.; DHINDWAL, A. S.; PONSIOEN, T. C. Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 73, n. 2, p. 113–130, 2005. DOI: 10.1016/j.agwat.2004.10.004.
- CAEL, B. B.; BISSON, K.; BOSS, E.; DUTKIEWICZ, S.; HENSON, S. Global climate change trends detected in indicators of ocean ecology. [S. l.], v. 820989, n. 820989, 2023. DOI: 10.1038/s41586-023-06321-z.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira - **Grãos**. Safra 2022/23. 7o levantamento (Versão regional). Palmas, TO.
- CRUZ, T. T.; ASMUS, G. L.; GARCIA, R. A. Crotalaria species in succession to soybean for the management of *Pratylenchus brachyurus*. **Ciencia Rural**, [S. l.], v. 50, n. 7, p. 1–8, 2020. DOI: 10.1590/0103-8478cr20190645.
- FARIAS, A. A. DE; XAVIER, R. A. Eventos Extremos de Secas na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Sucuru, Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 38, p. 1–12, 2023. DOI: 10.1590/0102-77863810087.
- FLACH, R.; SKALSKÝ, R.; FOLBERTH, C.; BALKOVIČ, J.; JANTKE, K.; SCHNEIDER, Uwe A. Water productivity and footprint of major Brazilian rainfed crops – A spatially explicit analysis of crop management scenarios. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 233, n.

December 2019, p. 105996, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105996>>.

FRENCH, R. J.; SCHULTZ, J. E. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean type environment. I. The relation between yield, water use and climate. **Australian Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 35, p. 743–764, 1984.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 96, n. 9, p. 1275–1284, 2009. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.04.009.

GRASSINI, P. et al. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 177, p. 49–63, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.03.004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.004>>.

IRMAK, S.; SPECHT, J. E.; ODHIAMBO, L. O.; REES, J. M.; CASSMAN, K. G. Soybean yield, evapotranspiration, water productivity, and soil water extraction response to subsurface drip irrigation and fertigation. **Transactions of the ASABE**, [S. l.], v. 57, n. 3, p. 729–748, 2014. DOI: 10.13031/trans.57.10085.

KONAPALA, G.; MISHRA, A. K.; WADA, Y.; MANN, M. E. Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. **Nature Communications**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 1–10, 2020. DOI: 10.1038/s41467-020-16757-w. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-16757-w>>.

LE, P. V. V.; RANDERSON, J. T.; WILLETT, R.; WRIGHT, S.; SMYTH, P.; GUILLOTEAU, C.; MAMALAKIS, A.; FOUFOULA-GEORGIU, E. Climate-driven changes in the predictability of seasonal precipitation. **Nature Communications**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1–10, 2023. DOI: 10.1038/s41467-023-39463-9.

MACHADO, L. A. Z.; GARCIA, R. A. Rendimento de grãos e produção de forragem na sucessão soja e gramíneas perenes consorciadas com crotalárias. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, [S. l.], n. 88, p. 29, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/225899/1/BP-88-2021.pdf>.

NASA. **Power**. Data access viewer. 2023. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>.

NASCENTE, A. S.; LACERDA, M. C.; LANNA, A. C.; DE FILIPPI, M. C. C.; SILVA, D. M. Cover crops can affect soil attributes and yield of upland rice. **Australian Journal of Crop Science**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 176–184, 2016.

NASCIMENTO, P. DOS S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. DA S. Planilha eletrônica para auxílio à tomada de decisão em manejo de irrigação. **Irriga**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 1–15, 2012. Disponível em: <<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/381/202>>.

PASSIOURA, J. Increasing crop productivity when water is scarce - From breeding to field management. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 80, n. 1- 3 SPEC. ISS., p. 176–196, 2006. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.07.012.

PAYERO, J. O.; MELVIN, S. R.; IRMAK, S. Response of soybean to deficit irrigation in the semi-arid environment of west-central Nebraska. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, [S. l.], v. 48, n. 6, p. 2189–2203, 2005. Disponível em: <<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=20105>>.

REIS, A. F. DE B.; ALMEIDA, R. E. M. DE; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; NASCENTE, A. S.; REIS, A. FR. DE B.; ALMEIDA, R. E. M. DE; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; NASCENTE, A. S. Effect of cover crops on soil attributes, plant nutrition, and irrigated tropical rice yield. **Revista Caatinga**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 837–846, 2017. DOI: 10.1590/1983-21252017v30n403rc. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000400837&lng=en&tlng=en>.

SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>>.

SANTOS, T. G.; BATTISTI, R.; CASAROLI, D.; JR., ALVES, J.; EVANGELISTA, A. W. P. Assessment of agricultural efficiency and yield gap for soybean in the Brazilian central cerrado biome. **Bragantia**, [S. l.], v. 80, 2021. DOI: 10.1590/1678-4499.20200352.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; MONTEIRO, L. A.; DUARTE, T. C. N.; VISSER, F. A. V. Yield gap: concepts, definitions and examples (in portuguese). **International Plant Nutrition Institute**, [S. l.], v. 155, p. 9–12, 2016. Disponível em: <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/9C05063FB033C24A83258042004C8594/>>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ORG.). **Cerrado**. Correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

TORRION, J. A.; SETIYONO, T. D.; GRAEF, G. L.; CASSMAN, K. G.; IRMAK, S.; SPECHT, J. E. Soybean irrigation management: Agronomic impacts of deferred, deficit, and full-season strategies. **Crop Science**, [S. l.], v. 54, n. 6, p. 2782–2795, 2014. DOI: 10.2135/cropsci2014.03.0261.

VAN BUSSEL, L. G. J. et al. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 177, p. 98–108, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.03.005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.005>>.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils1. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l.], v. 44, n. 5, p. 892, 1980. DOI: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x. Disponível em: <<https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/44/5/SS0440050892>>.

VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 143, p. 4–17, 2013. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>>.

VAN WART, J. et al. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 143, p. 44–55, 2013. a. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.11.023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.023>>.

VAN WART, J.; GRASSINI, P.; YANG, H.; CLAESSENS, L.; JARVIS, A.; CASSMAN, K. G. Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 209–210, p. 49–58, 2015. DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.02.020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.020>>.

VAN WART, J.; KERSEBAUM, K. C.; PENG, S.; MILNER, M.; CASSMAN, K. G. Estimating crop yield potential at regional to national scales. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 143, p. 34–43, 2013. b. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.11.018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.018>>.

D. Santos et al.

YU, Q. et al. A cultivated planet in 2010-Part 2: The global gridded agricultural-production maps. **Earth System Science Data**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 3545–3572, 2020. DOI: 10.5194/essd-12-3545-2020.

ZAIONTZ, C. Real Statistics Resource Pack software (Release 7.6), 2023. Disponível em: <<https://real-statistics.com/wp-content/uploads/2023/04/XRealStats.xlam>>.