

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Célio Jacinto da Silva

**PEGADA HÍDRICA DA CULTURA DO FEIJÃO DE INVERNO
IRRIGADO PARA O MÉDIO NORTE DO ESTADO DE MATO GROSSO**

**SINOP
MATO GROSSO - BRASIL
2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Célio Jacinto da Silva

**PEGADA HÍDRICA DA CULTURA DO FEIJÃO DE INVERNO
IRRIGADO PARA O MÉDIO NORTE DO ESTADO DE MATO GROSSO**

Orientador: Prof. Dr. Frederico Terra de Almeida

Coorientadora: Profa. Dra. Daniela Roberta Borella
Coorientador: Prof. Dr. Handrey Borges Araújo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, na área de Recursos Naturais como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de pesquisa: Recursos Naturais.

**SINOP
MATO GROSSO - BRASIL
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586p Silva, Célio Jacinto da.

Pegada hídrica da cultura do feijão de inverno irrigado para o médio norte do estado de Mato Grosso. [recurso eletrônico] / Célio Jacinto da Silva. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 66 f., il. color., pdf). -- 2024.

Orientador: Frederico Terra de Almeida.

Coorientadora: Daniela Roberta Borella.

Coorientador: Handrey Borges Araújo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop, 2024.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. CROPWAT. 2. Região Transição Amazônia. 3. Eficiência Hídrica. 4. Grãos. 5. Recursos Hídricos. I. Almeida, Frederico Terra de, *orientador*. II. Borella, Daniela Roberta, *coorientador*. III. Araújo, Handrey Borges, *coorientador*. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Mestrando: Célio Jacinto da Silva

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor(a) Frederico Terra de Almeida (Presidente Banca)
2. Doutor(a) Frederico Terra de Almeida (Orientador(a))
3. Doutor(a) Marcus Metri Correa (Examinador(a) Externo(a))
4. Doutor(a) Elias Lira dos santos Junior (Examinador(a) Externo(a))
5. Doutor(a) Vera Lucia Antunes de Lima (Examinador(a) Suplente)
6. Doutor(a) Adilson Pacheco de Souza (Examinador(a) Suplente)

Recomendações da Banca: aprovado, com novo título "Pegada hídrica da cultura do feijão de inverno irrigado para o médio norte do Estado de Mato Grosso".

Ciência do (a) Discente é realizada eletronicamente através do SEI.

SINOP, 19/03/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Marcus Metri Corrêa, Usuário Externo**, em 26/03/2024, às 14:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elias Lira Dos Santos Junior, Usuário Externo**, em 27/03/2024, às 08:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FREDERICO TERRA DE ALMEIDA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 27/03/2024, às 08:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_o rgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6714211** e o código CRC **06FC8E98**.

Ao meu querido pai Manoel (in memoriam), exemplo de ser humano íntegro e ético, cuja presença foi essencial na minha vida e cujo empenho para me dar educação sempre veio em primeiro lugar. Gratidão eterna.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todo apoio, ensinamento e orientação do meu orientador Dr. Frederico Terra de Almeida, que sempre garantiu que a infraestrutura para a execução do projeto estivesse disponível, além de sempre ser muito educado, zeloso e responsável na condução do trabalho.

Esta pesquisa não seria possível sem o apoio e o esforço de todos os integrantes do grupo de Tecnologia em Recursos Hídricos no Centro-Oeste – TREHCO, que em muitas ocasiões sacrificaram fins de semana e feriados para me auxiliar na pesquisa. Em especial agradeço ao prof. Dr. Adilson Pacheco de Souza, ao meu orientador e aos colegas Rhavel, Jones, Apoliano, Charles e Jaime, pela parceria de sempre.

Agradeço minha coorientadora Dra. Daniela Roberta Borella por todo cuidado e dedicação na correção do trabalho escrito e demais contribuições, e ao meu coorientador Dr. Handrey Borges Araújo pelas contribuições dadas ao longo da pesquisa.

Agradeço aos meus colegas de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, que de uma forma ou outra se dispuseram a ajudar ao longo dele, seja nas atividades das disciplinas cursadas ou na pesquisa.

À Universidade Federal de Mato Grosso e a todos os professores do programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, com os quais tive a oportunidade de ter uma convivência e contato profissional. Agradeço o conhecimento e aprendizado adquirido durante o mestrado.

Aos membros da banca agradeço pelas contribuições fornecidas.

E em especial à minha esposa Donizete Ritter, por toda contribuição com a parte escrita da dissertação e auxílio nos trabalhos das disciplinas ao longo desses dois anos, pela dedicação e compreensão em cuidar da nossa filha Antonella na minha ausência, em função das expedições para coleta de dados. Sem seu apoio e contribuição eu não teria chegado até aqui!

“A Terra provê o suficiente para as necessidades de todos os homens, mas não para a ganância de todos.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

O setor agrícola brasileiro é um segmento muito expressivo quanto à utilização dos recursos hídricos, principalmente no estado de Mato Grosso, que abriga um dos maiores polos de irrigação do país, em regiões caracterizadas pelo bioma Amazônico. Visto que os recursos hídricos são finitos e sua utilização é intensiva, a quantificação do uso da água pela agricultura pode contribuir para a adoção de políticas públicas de gestão dos recursos hídricos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a Pegada Hídrica do feijão de inverno irrigado no Médio Norte do estado de Mato Grosso nos anos de 2021 a 2023. Por meio do software CROPWAT foi possível calcular a demanda evapotranspirométrica da cultura do feijão na região e realizar o balanço de irrigação. As Pegadas Hídricas verde e azul foram obtidas utilizando a evapotranspiração da cultura para calcular a demanda hídrica, cuja média foi de $2.381,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, enquanto a Pegada Hídrica cinza foi calculada com parâmetros de taxa de aplicação de fertilizante nitrogenado nas culturas, que foi de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, e sua lixiviação no solo, com média de $342,44 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, destacando a importância do controle adequado da aplicação de fertilizantes. Na área de estudo a variedade Dama Carioca TAA S2 foi cultivada, apresentando uma boa produtividade média, de $2.921,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, superando as médias nacional e regionais. A média da Pegada Hídrica Total do feijão foi de $1.157,96 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, sendo 70,43% atribuídos à Pegada Hídrica Azul ($815,52 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$) e 29,57% atribuídos à Pegada Hídrica Cinza ($342,44 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$). A ausência de Pegada Hídrica Verde (0%) reflete a prática de plantio durante o período seco. Em comparação com estudos anteriores, os resultados indicam que a produção de feijão na região estudada apresenta um ótimo índice de Pegada Hídrica. Esses resultados têm implicações valiosas para a agricultura sustentável, enfatizando a importância do manejo consciente dos recursos hídricos para melhorar a produção agrícola, uma vez que o indicador de Pegada Hídrica contribui para discussões de potencialidades de plantio de culturas em determinadas regiões.

Palavras-chave: CROPWAT; Região Transição Amazônia; Eficiência Hídrica; Grãos; Recursos Hídricos.

ABSTRACT

The Brazilian agricultural sector is a very significant segment in terms of the use of water resources, mainly in the State of Mato Grosso, which is home to one of the largest irrigation centers in the country, in regions characterized by the Amazon biome. Since water resources are finite and their use is intensive, quantifying water use in agriculture can contribute to the adoption of public policies for water resource management. In this sense, the objective of this work was to calculate and evaluate the Water Footprint of irrigated winter beans in the Middle North of the state of Mato Grosso in the years 2021 to 2023. Using the CROPWAT software, it was possible to calculate the evapotranspirometric demand of the bean crop in region and carry out an irrigation balance. The green and blue Water Footprints were obtained using crop evapotranspiration to calculate water demand, with an average of $2,381.0 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, while the gray Water Footprint was calculated using nitrogen fertilizer application rate parameters to crops, which was $100 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$, and its leaching into the soil, with an average of $342.44 \text{ m}^3.\text{t}^{-1}$, highlighting the importance of adequate control of fertilizer application. In the study area, the Dama Carioca TAA S2 variety was cultivated, presenting a good average productivity of $2,921.0 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$, surpassing the national and regional averages. The average Total Water Footprint of beans was $1,157.96 \text{ m}^3.\text{t}^{-1}$, with 70.43% attributed to the Blue Water Footprint ($815.52 \text{ m}^3.\text{t}^{-1}$) and 29.57% attributed to the Gray Water Footprint ($342.44 \text{ m}^3.\text{t}^{-1}$). The absence of Green Water Footprint (0%) reflects the practice of planting during the dry period. Compared to previous studies, the results indicate that bean production in the studied region has an excellent Water Footprint index. These results have valuable implications for sustainable agriculture, emphasizing the importance of conscious management of water resources to improve agricultural production, since the Water Footprint indicator contributes to discussions of crop planting potential in certain regions.

Keywords: CROPWAT; Amazon transition region; Water Efficiency; Grains; Water resources.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da área de estudo com o cultivo do feijão inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Caiabi, na região do Ecótono Cerrado-Amazônia, Mato Grosso, Brasil... 12
- Figura 2.** Representação gráfica completa do balanço hídrico climatológico para a estação meteorológica convencional “Gleba Celeste” no período de 1971-2010, na região Norte do estado de Mato Grosso. 13
- Figura 3.** Área agrícola irrigada (pivô central 01) com o cultivo do feijão carioca pertencente a Fazenda São José, localizada no município de Sinop, Mato Grosso, Brasil. 14
- Figura 4.** Evapotranspiração da cultura (ETc) ao longo do ciclo da cultura do feijão, nos anos de 2021, 2022 e 2023..... 24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações gerais da cultura do feijão no estado de Mato Grosso, na região Centro-Oeste e no Brasil, nas safras 2020/21, 2021/22 e 2022/23.....	10
Tabela 2. Fases da cultura e coeficiente de cultivo da cultura do feijão segundo a FAO 56.....	15
Tabela 3. Informações gerais da cultura do feijão irrigado por pivô central em uma área de 130 hectares pertencente a Fazenda São José, Sinop, Mato Grosso, Brasil.	19
Tabela 4. Dados de precipitação, demandas de evapotranspiração da cultura (ETc), do índice de disponibilidade de água no solo (Ks), da evapotranspiração ajustada (ETa) e da Necessidade Hídrica da Cultura (NHC) no ciclo da cultura do feijão irrigado no médio norte do estado de Mato Grosso, safras de 2021 a 2023.....	20
Tabela 5. Pegada hídrica (azul, verde, cinza e total) do feijão irrigado por pivô central em uma área de 130 hectares pertencente a Fazenda São José, Sinop, Mato Grosso, Brasil...	21

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
CAPÍTULO I.....	7
PEGADA HÍDRICA DO FEIJÃO PARA O MÉDIO NORTE DO ESTADO DE MATO GROSSO 7	7
Pegada hídrica do feijão para o Médio Norte do estado de Mato Grosso.....	8
Introdução	9
Material e Métodos.....	12
Área de estudo	12
Cultura do feijão irrigado	13
Monitoramento meteorológico.....	14
Balço hídrico da cultura	15
Cálculos das demandas.....	18
Resultados e Discussão	19
Conclusões	26
Agradecimentos	26
Referências.....	27
CONCLUSÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO.....	30
ANEXO I: NORMAS PARA SUBMISSÃO À REVISTA GAIA SCIENTIA.....	32
ANEXO II: DADOS COLETADOS NOS ANOS DE 2021, 2022 e 2023:	38
Anexo II. A: Dados Coletados no Ano de 2021.....	38
Anexo II. B: Dados Coletados no Ano de 2022.....	44
Anexo II. C: Dados Coletados no Ano de 2023.....	48
ANEXO III – REFERÊNCIAS DAS CONTRIBUIÇÕES EM OUTROS TRABALHOS DURANTE O PERÍODO DO MESTRADO.....	53

INTRODUÇÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO

A população mundial passou dos 8 bilhões de habitantes, e tende a crescer apesar de em menores taxas, precisando a cada dia mais alimentos. Por sorte, o Brasil figura como um dos maiores produtores de alimentos do mundo, sendo o setor do agronegócio um dos mais pujantes de sua economia. Dentre as diversas culturas em que se destaca, atualmente, é o terceiro maior produtor de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) do mundo, com uma produção de 3,04 milhões de toneladas e uma média de 1.129,2 kg.ha⁻¹ na safra 2022/23 (CONAB, 2023).

O feijão comum é produzido em todas as regiões brasileiras. Entretanto, as condições de clima e solo das regiões produtoras e as características agronômicas da planta interferem na escolha do melhor local e da melhor época de semeadura. No Brasil existem relatos de três safras de feijão comum no ano, sendo que a duração de cada safra é, em média, de 75 a 95 dias, sendo dependente da variedade e do clima local (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2022).

No estado de Mato Grosso, o plantio da primeira safra vai de outubro a dezembro e o plantio da segunda safra (safrinha) vai de janeiro a março, ou seja, essas duas safras são plantadas no período chuvoso. Já a semeadura da terceira safra ocorre de maio a julho, com o fim do período chuvoso, precisando assim de irrigação total ou suplementar nesta safra (EMBRAPA, 2022).

No contexto atual, o estado de Mato Grosso figura como o 5º maior produtor de feijão do país. Contudo, apesar de sua relevância no cenário nacional, o estado testemunhou uma diminuição em sua produção ao longo dos últimos anos, uma vez que a área cultivada diminuiu bastante nesse período. Na safra de 2022/23 produziu 307,1 mil toneladas frente a uma produção de 358,7 mil toneladas na safra de 2020/2021 (redução de 14,38%). (CONAB, 2023) Essa tendência, no entanto, não refletiu diretamente na produtividade, pois mesmo com uma redução de 39,63% na área cultivada, que passou de 255.600 hectares na safra 2020/21 para cerca de 154.300 hectares na safra 2022/23, a produtividade no estado apresentou um aumento significativo, passando de 1.403,4 kg.ha⁻¹ para 1.990,2 kg.ha⁻¹ nas mesmas safras (aumento de 41,81%) (CONAB, 2023).

O aumento da produtividade nas lavouras, em especial devido aos avanços tecnológicos, como a implementação de sistemas de irrigação, tem sido um impulsionador significativo. No entanto, mesmo com a produtividade do estado de Mato Grosso superando a média nacional, há margem para melhorias, pois a produtividade mato-grossense ainda fica, atualmente, 12,55% atrás da média da Região Centro-Oeste, que atingiu 2.275,7 kg.ha⁻¹ na safra 2022/2023 (CONAB, 2023).

Essa discrepância na produtividade está intrinsecamente ligada à demanda hídrica. A quantidade de água necessária para o cultivo do feijão, assim como de outras culturas, depende de uma série de variáveis, incluindo clima, solo, práticas agrícolas e manejo da irrigação. Estudos recentes estimaram a demanda hídrica para diferentes variedades de feijão em diversas regiões, destacando a importância desse recurso para o sucesso das safras. Por exemplo, na região de transição Cerrado-Amazônia, a demanda hídrica para o feijão carioca foi estimada em 373,4 mm, enquanto no bioma Cerrado alcançou 415,9 mm, resultando em uma produtividade de 2.285,0 kg.ha⁻¹ nestas localidades no Mato Grosso (RONDON, 2023).

Além disso, estudos como o de Sales *et al.* (2017) e Costa *et al.* (2017) destacam a influência da aplicação adequada de água na produtividade do feijão. A variação das lâminas de irrigação resultou em diferenças significativas na produção, evidenciando a importância do manejo eficiente da água. A avaliação da demanda hídrica e o uso eficiente dos recursos são aspectos cruciais não apenas para a agricultura, mas também para a gestão sustentável dos recursos hídricos em geral.

Sales *et al.* (2017) realizaram um estudo sobre a aplicação de diferentes níveis de irrigação nas variedades de feijão majestoso e valente, em Colatina, Espírito Santo. Eles variaram os níveis de irrigação de 103,8 a 319,7 mm para a primeira variedade, obtendo produtividades entre 1.589,6 e 2.703,5 kg.ha⁻¹, respectivamente. Para a variedade Valente, os níveis de irrigação variaram de 94,5 a 327,7 mm, resultando em produtividades de 818,5 a 3.797,9 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Costa *et al.* (2017) investigaram a aplicação de água por meio de diferentes sistemas de irrigação na cultura do feijão carioca, encontrando uma demanda média de 437,0 mm para uma produtividade média de 1.979,4 kg.ha⁻¹. Por outro lado, Mantovani *et al.* (2012) estimaram diferentes níveis de irrigação para o feijão carioca, com base na uniformidade do sistema de irrigação, alcançando uma aplicação de 418,2 mm e uma produtividade de 2.946,5 kg.ha⁻¹ na região de Cristalina, Goiás.

Outros estudos procuraram estimar e/ou medir a demanda hídrica da cultura do feijão, levando em consideração os coeficientes de cultivo para diversas variedades de feijão em várias

localidades. Fischer Filho e Zocoler (2016) estimaram uma lâmina média de 393 mm, enquanto Mendonça *et al.* (2007) mediram uma lâmina de irrigação de 263,5 mm para a cultura do feijão comum na região de Campos, no Rio de Janeiro. Isso levanta preocupações sobre a demanda de água para a agricultura irrigada em propriedades rurais, destacando a importância da avaliação do uso da água através de índices que expressem os conceitos de eficiência e sustentabilidade.

Nesse contexto, políticas como a Lei nº. 9.433/1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), bem como as leis estaduais, como a Lei Estadual dos Recursos Hídricos Nº 11.088/ 2020, para o estado de Mato Grosso, desempenham um papel fundamental na proteção e gestão dos recursos hídricos no Brasil. Essas leis e as suas regulamentações visam garantir o uso sustentável da água, considerando não apenas as necessidades agrícolas, mas também os impactos ambientais e sociais (BRASIL, 2023).

De acordo com Hoekstra *et al.* (2011), entre os conceitos de planejamento e gestão dos recursos hídricos, a Pegada Hídrica emerge como uma métrica composta. Ela não apenas leva em conta medidas tradicionais de apropriação, mas também a escassez de água, tornando-se um indicador da pressão humana sobre os recursos hídricos. Além disso, a Pegada Hídrica considera a água utilizada na produção de bens e serviços em uma bacia hidrográfica, definindo-a como água virtual.

É crucial entender que a Pegada Hídrica proporciona informações espaciais e temporais sobre o uso da água em diversas atividades humanas. Essas medidas refletem as variações locais de utilização, evaporação e impactos nos recursos hídricos (CHAPAGAIN e TICKNER, 2012). No entanto, é importante ressaltar que a Pegada Hídrica não está diretamente relacionada ao grau de severidade do impacto ambiental local causado pelo consumo e poluição da água.

Para um gerenciamento adequado do uso da água por culturas agrícolas, é essencial calcular a evapotranspiração de forma precisa. Existem diversos métodos para realizar esse cálculo, incluindo a troca de massa, radiação e temperatura, entre outros (MORAIS *et al.*, 2015). O método Penman-Monteith é considerado eficaz e abrangente para determinar as necessidades hídricas das culturas (ABEDINPOUR, 2017).

A avaliação da Pegada Hídrica emerge como uma ferramenta crucial para compreender o uso da água nas diferentes atividades humanas. Essa métrica oferece uma visão abrangente e detalhada do consumo de água. Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a Pegada Hídrica da cultura do feijão sob condições de irrigação na região de Ecótono Cerrado-Amazônia

Matogrossense, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias que promovam o uso sustentável dos recursos hídricos e aprimorem a produtividade agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDINPOUR, M. Wheat water use and yield under different salinity of irrigation water. **Journal of Water and Land Development**, n. 33 p. 3–9, 2017. DOI:[10.1515/jwld-2017-0013](https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0013)

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, Inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal**. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 08 nov. 2023.

CHAPAGAIN, A; TICKNER, D. **Pegada Hídrica: evolução do conceito e sua utilidade a prática**. In: Empinoti, V; Jacobi, P.R.(Org.). *Pegada Hídrica: inovação, responsabilização e os desafios de sua aplicação*. São Paulo: Annablume. 2012.

CONAB: Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: séries históricas das safras de grãos**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras#gr%C3%A3os-2>. Acesso em: 10 nov. 2023

COSTA, C. T. S., TEODORO, I., CUNHA, F. N., MORAIS, W. A., VIDAL, V. M., & GOMES, L. F. **Desempenho e produtividade do feijão-comum, submetido a três sistemas de irrigação**. IV INOVAGRI International Meeting/XXVI CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem/III SBS – Simpósio Brasileiro de Salinidade. 02 a 06 de outubro 2017 - Fortaleza/CE. 2017. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20180721081000id/http://www.inovagri.org/anais/TC0560187.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.

EMBRAPA: Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Cultura do Feijão**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilhatecnologica/tecnologias/culturas/-feijao>. Acesso em: 30 ago. 2022.

FISCHER FILHO, J. A.; ZOCOLER, J. L. Estimativa do coeficiente de cultura (Kc) do feijoeiro em Ilha Solteira, SP. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, 24(3): 229-235. 2016. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i3.665>

HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., & MEKONNEN, M. M. **The water footprint assessment manual: Setting the global standard**. Routledge. ISBN 1136538518, 9781136538513. 2011. Disponível: https://waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_English.pdf Acesso em: 30 set. 2023.

MANTOVANI, E. C. ET AL. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. **Engenharia Agrícola**, 32: 110-120. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100->

[69162012000100012](https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000500004).

MENDONÇA, J. C. ET AL. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 11: 471-475. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000500004>.

MORAIS, J. DE ET AL. Avaliação do método de Penman Monteith FAO 56 com dados faltosos e de métodos alternativos na estimativa da evapotranspiração de referência no submédio Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 8 (6): 1644-1660. 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150093>.

RONDON, D. DA S. R. **Pegada hídrica da produção de grãos em polos de irrigação do Cerrado e da transição Cerrado - Amazônia de Mato Grosso, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 78 f. 2023.

SALES, R. A. DE ET AL. Índice de satisfação das demandas de água e produtividade do feijão em diferentes lâminas de irrigação em Colatina-ES. **Energia na Agricultura**, 32(1): 81-87. 2017. DOI: [10.17224/EnergAgric.2017v32n1p81-87](https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2017v32n1p81-87)

CAPÍTULO I

**PEGADA HÍDRICA DO FEIJÃO PARA O MÉDIO NORTE DO ESTADO
DE MATO GROSSO**

O presente manuscrito seguirá as padronizações adotadas pela revista *Gaia Scientia*, no qual o presente trabalho foi submetido (ANEXO I).

Pegada hídrica do feijão para o Médio Norte do estado de Mato Grosso

Resumo – O setor agrícola brasileiro é um segmento muito expressivo quanto à utilização dos recursos hídricos, principalmente no estado de Mato Grosso, que abriga um dos maiores polos de irrigação do país, em regiões caracterizadas pelo bioma Amazônico. Visto que os recursos hídricos são finitos e sua utilização é intensiva, a quantificação do uso da água pela agricultura pode contribuir para a adoção de políticas públicas de gestão de recursos hídricos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar e analisar a Pegada Hídrica do feijão de inverno irrigado no Médio Norte do estado de Mato Grosso nos anos de 2021 a 2023. Por meio do software CROPWAT foi possível calcular a demanda evapotranspirométrica da cultura do feijão na região e realizar o balanço de irrigação. As Pegadas Hídricas verde e azul foram obtidas utilizando a evapotranspiração da cultura para calcular a demanda hídrica, cuja média foi de 2.381,0 m³.ha⁻¹, enquanto a Pegada Hídrica cinza foi calculada com parâmetros de taxa de aplicação de fertilizante nitrogenado nas culturas, que foi de 100 kg.ha⁻¹, e sua lixiviação no solo, com média de 342,44 m³.t⁻¹, destacando a importância do controle adequado da aplicação de fertilizantes. Na área de estudo a variedade Dama Carioca TAA S2 foi cultivada, apresentando uma boa produtividade média, de 2.921,0 kg.ha⁻¹, superando as médias nacional e regionais. A média da Pegada Hídrica Total do feijão foi de 1.157,96 m³.t⁻¹, sendo 70,43% atribuídos à Pegada Hídrica Azul (815,52 m³.t⁻¹) e 29,57% atribuídos à Pegada Hídrica Cinza (342,44 m³.t⁻¹). A ausência de Pegada Hídrica Verde (0%) reflete a prática de plantio durante o período de ausência de chuvas. Em comparação com estudos anteriores, os resultados indicaram que a produção de feijão na região estudada apresentou um ótimo índice de Pegada Hídrica. Esses resultados têm implicações valiosas para a agricultura sustentável, enfatizando a importância do manejo consciente dos recursos hídricos para melhorar a produção agrícola, uma vez que o indicador de Pegada Hídrica contribui para discussões de potencialidades de plantio de culturas em determinadas regiões.

Palavras-chave: CROPWAT; Ecótono Cerrado-Amazônia; Eficiência Hídrica; Grãos; Recursos Hídricos.

Huella hídrica del frijol para el medio norte del Estado de Mato Grosso

Resumen: El sector agrícola brasileño es un segmento muy significativo en términos de uso de recursos hídricos, principalmente en el Estado de Mato Grosso, que alberga uno de los mayores centros de riego del país, en regiones caracterizadas por el bioma amazónico. Dado que los recursos hídricos son finitos y su uso intensivo, cuantificar el uso del agua en la agricultura puede contribuir a la adopción de políticas públicas para la gestión de los recursos hídricos. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue calcular y evaluar la Huella Hídrica del frijol de invierno irrigado en el Medio Norte del estado de Mato Grosso en los años 2021 a 2023. Utilizando el software CROPWAT, fue posible calcular la huella evapotranspirométrica. demanda del cultivo de frijol en la región y realizar un balance de riego. Las Huellas Hídricas verde y azul se obtuvieron utilizando la evapotranspiración de los cultivos para calcular la demanda de agua, con un promedio de 2.381,0 m³.ha⁻¹, mientras que la Huella Hídrica gris se calculó utilizando los parámetros de tasa de aplicación de fertilizantes nitrogenados a los cultivos, la cual fue de 100 kg.ha⁻¹, y su lixiviación al suelo, con un promedio de 342,44 m³.t⁻¹, destacando la importancia de un adecuado control de la aplicación de fertilizantes. En el área de estudio se cultivó la variedad Dama Carioca TAA S2, presentando una buena productividad promedio de 2.921,0 kg.ha⁻¹, superando los promedios nacional y regional. La Huella Hídrica Total promedio del frijol fue de 1.157,96 m³.t⁻¹, siendo el 70,43% atribuido a la Huella Hídrica Azul (815,52 m³.t⁻¹) y el 29,57% atribuido a la Huella Hídrica gris (342,44 m³.t⁻¹). La ausencia de Huella Hídrica Verde (0%) refleja la práctica de plantar durante el período seco. En comparación con estudios anteriores, los resultados indican que la producción de frijol en la región estudiada tiene un excelente índice de huella hídrica. Estos resultados tienen implicaciones valiosas para la agricultura sostenible,

52 enfatizando la importancia de una gestión consciente de los recursos hídricos para mejorar la
53 producción agrícola, ya que el indicador de Huella Hídrica contribuye a las discusiones sobre el
54 potencial de siembra de cultivos en ciertas regiones.

55

56 **Palabras llave:** CROPWAT; Ecotono Cerrado-Amazónico; Eficiencia de agua; Granos; Recursos
57 hídricos.

58

59 Bean Water footprint for the middle north of the State of Mato Grosso

60

61 **Abstract** – The Brazilian agricultural sector is a very significant segment in terms of the use of water
62 resources, mainly in the State of Mato Grosso, which is home to one of the largest irrigation centers
63 in the country, in regions characterized by the Amazon biome. Since water resources are finite and
64 their use is intensive, quantifying water use in agriculture can contribute to the adoption of public
65 policies for water resource management. In this sense, the objective of this work was to calculate and
66 evaluate the Water Footprint of irrigated winter beans in the Middle North of the state of Mato Grosso
67 in the years 2021 to 2023. Using the CROPWAT software, it was possible to calculate the
68 evapotranspirometric demand of the bean crop in region and carry out an irrigation balance. The green
69 and blue Water Footprints were obtained using crop evapotranspiration to calculate water demand,
70 with an average of 2,381.0 m³.ha⁻¹, while the gray Water Footprint was calculated using nitrogen
71 fertilizer application rate parameters to crops, which was 100 kg.ha⁻¹, and its leaching into the soil,
72 with an average of 342.44 m³.t⁻¹, highlighting the importance of adequate control of fertilizer
73 application. In the study area, the Dama Carioca TAA S2 variety was cultivated, presenting a good
74 average productivity of 2,921.0 kg.ha⁻¹, surpassing the national and regional averages. The average
75 Total Water Footprint of beans was 1,157.96 m³.t⁻¹, with 70.43% attributed to the Blue Water
76 Footprint (815.52 m³.t⁻¹) and 29.57% attributed to the Gray Water Footprint (342.44 m³.t⁻¹). The
77 absence of Green Water Footprint (0%) reflects the practice of planting during the dry period.
78 Compared to previous studies, the results indicate that bean production in the studied region has an
79 excellent water footprint index. These results have valuable implications for sustainable agriculture,
80 emphasizing the importance of conscious management of water resources to improve agricultural
81 production, since the Water Footprint indicator contributes to discussions of crop planting potential
82 in certain regions.

83

84 **Keywords:** CROPWAT; Cerrado-Amazon Ecotone; Water Efficiency; Grains; Water resources.

85

86 **Introdução**

87 O Brasil atualmente é o terceiro maior produtor de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) do
88 mundo, com uma safra 2020/21 de 2,8938 milhões de toneladas, safra 2021/22 de 2,9902 milhões de
89 toneladas, safra 2022/23 de 3,0418 milhões de toneladas, representando um aumento de 5,11% nesse
90 período. Mesmo com a diminuição da área cultivada com feijão no país no decorrer deste período, a
91 produção nacional aumentou, devido a um aumento médio da produtividade de 14,07%, que passou
92 de 989,9 kg.ha⁻¹ na safra 2020/21 para 1.129,2 kg.ha⁻¹ na safra 2022/23.

93 O estado de Mato Grosso é o quinto maior produtor de feijão do país, atualmente com um
94 montante de 358,7, 255,3 e 307,1 mil toneladas nas safras 2020/21, 2021/22 e 2022/23,
95 respectivamente, ou seja, houve uma redução na produção estadual de 14,38% ao longo desse período
96 (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2023).

97 No estado de Mato Grosso, a área cultivada com feijão chegou a 255.600 ha na safra 2020/21,
 98 no entanto, na safra 2022/23 essa área foi de 154.300 ha, uma redução de 39,63% em dois anos
 99 (CONAB, 2023). Apesar da redução significativa na área de produção de feijão, a produtividade no
 100 Mato Grosso aumentou substancialmente, passando de 1.403,4 kg.ha⁻¹ para 1.990,2 kg.ha⁻¹,
 101 representando um aumento de 41,81% na produtividade no período considerado, fato este que fez
 102 com que a redução da produção estadual ao longo do período considerado não fosse tão impactante
 103 quanto poderia ter sido, tendo em vista a grande redução da área cultivada (como já dito a produção
 104 do estado teve redução de 14,38%, frente à uma redução de 39,63% na área cultivada) (CONAB,
 105 2023). A Tabela 1 mostra, com detalhes, essas informações.
 106

Tabela 1. Informações gerais da cultura do feijão no estado de Mato Grosso, na região Centro-Oeste e no Brasil, nas safras 2020/21, 2021/22 e 2022/23.

Local	Área (Em mil ha)			Produção (Em mil toneladas)			Produtividade (kg.ha ⁻¹)		
	2020/21	2021/22	2022/23	2020/21	2021/22	2022/23	2020/21	2021/22	2022/23
Mato Grosso	255,6	157,3	154,3	358,7	255,3	307,1	1.403,4	1.622,9	1.990,2
Centro-Oeste	427,7	294,5	285,3	777	590,8	649,3	1.816,8	2.006,3	2.275,7
Brasil	2.923,4	2.859,0	2.693,6	2.893,8	2.990,2	3.041,8	989,9	1.045,9	1.129,2

107 Fonte: Adaptado de CONAB (2023).
 108

109 Este aumento da produtividade se deve, em parte, aos avanços tecnológicos nas lavouras,
 110 sobretudo, a irrigação. O estado de Mato Grosso ainda pode melhorar a produtividade da cultura,
 111 pois, apesar de atualmente ter produtividade maior do que a média nacional (1.990,2 kg.ha⁻¹ na safra
 112 2022/23 contra 1.129,2 kg.ha⁻¹ da safra nacional no mesmo período), sua produtividade é menor do
 113 que a média da Região Centro-Oeste, que foi de 2.275,7 kg.ha⁻¹ na safra 2022/23 (CONAB, 2023).
 114 Isso porque no Mato Grosso é mais comum o plantio do feijão “safrinha” (2^a safra) e do feijão irrigado
 115 (3^a safra) (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2022).

116 A diferença de produtividade se deve a diversos fatores, mas essencialmente pode-se dizer
 117 que a demanda hídrica é o principal fator. Isto fica visível porque esta demanda para o feijão como
 118 para qualquer outra cultura e/ou variedade e/ou cultivar, vai depender do clima e do solo da região de
 119 plantio e dos tratos culturais, bem como do manejo da irrigação. Exemplos disso são os estudos que
 120 estimam a demanda hídrica do feijão carioca, com 373,4 mm para a região da área de transição
 121 Cerrado-Amazônia e de 415,9 mm para o bioma Cerrado, ambos os cultivos localizados no estado de
 122 Mato Grosso, e a produtividade do feijão nestas localidades foi de 2.285,0 kg.ha⁻¹ (Rondon, 2023).

123 Sales *et al.* (2017) estudaram a aplicação de lâminas para as cultivares de feijão majestoso e
 124 valente em Colatina – ES, com lâminas variando de 103,8 a 319,7 mm para a primeira cultivar, e
 125 obtiveram produtividades variando de 1.589,6 a 2.703,5 kg.ha⁻¹ respectivamente. Para a cultivar

126 Valente, com lâminas de 94,5 a 327,7 mm, obtiveram produtividades variando de 818,5 a 3.797,9
127 kg.ha⁻¹, respectivamente.

128 Costa *et al.* (2017) estudaram a aplicação de água por diferentes sistemas de irrigação na
129 cultura do feijão carioca, e encontraram 437,0 mm de média de demanda, para uma produtividade
130 média de 1979,4 kg.ha⁻¹. Enquanto Mantovani *et al.* (2012) estimaram diferentes lâminas de irrigação
131 para o feijão carioca, em função da uniformidade do sistema de irrigação, obtendo com a maior
132 uniformidade uma aplicação de 418,2 mm e uma produtividade de 2.946,5 kg.ha⁻¹, para seu ciclo, na
133 região de Cristalina - GO.

134 Outros estudos buscaram estimar e/ou medir lâminas de demanda hídrica da cultura do feijão,
135 com base na melhor estimativa dos coeficientes de cultivo para várias cultivares de feijão em
136 diferentes localidades, Fischer Filho e Zocoler (2016) estimaram lâmina média de 393 mm, enquanto
137 Mendonça *et al.* (2007) mediram a irrigação para o feijão comum uma lâmina de 263,5 mm, para a
138 região de Campos, no Rio de Janeiro. Com isso surge a preocupação pela demanda de água para o
139 agronegócio na irrigação de culturas agrícolas em propriedades rurais. Dessa forma, a avaliação do
140 uso da água, por meio de índices, expressa o conceito de eficiência e sustentabilidade conjuntamente.

141 Além disso, com o aumento do uso dos recursos hídricos houve a necessidade de sancionar
142 leis de proteção ambiental, como a Lei nº. 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos
143 Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), tendo
144 por objetivo ser um instrumento que orienta a gestão das águas no Brasil, orientando sobre a gestão
145 e planejamento, definindo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e de gestão dos
146 recursos hídricos (Brasil, 2023).

147 Dentre as ideias de planejamento e gestão dos recursos hídricos, de acordo com Hoekstra *et*
148 *al.* (2011), a Pegada Hídrica pode ser vista como uma métrica composta, que leva em consideração
149 medidas tradicionais de apropriação, bem como a escassez de água, sendo assim um indicador da
150 pressão antrópica sobre os recursos hídricos, ela também considera a água que é utilizada na produção
151 de bens e serviços numa bacia hidrográfica e que não pode ser vista, denominando-a de água virtual.

152 A Pegada Hídrica é fundamental para fornecer informações espaço-temporais do modo como
153 a água é utilizada nas diversas atividades humanas, em que estas medidas podem refletir as variações
154 locais de utilização, evaporação e impactos em relação aos recursos hídricos (Chapagain e Tickner,
155 2012). A Pegada Hídrica oferece, assim, uma visão sistêmica e holística da relação do consumidor
156 ou produtor com o uso da água potável, no entanto, esse termo não está relacionado ao grau de
157 severidade do impacto ambiental local do consumo e poluição da água.

158 Para que ocorra o gerenciamento apropriado do uso da água por uma cultura, é necessário
159 fazer o cálculo da evapotranspiração de forma precisa, que pode ser feito por diversos métodos como
160 por exemplo, com base na troca de massa, na radiação e na temperatura, dentre outros (Morais *et al.*,

161 2015). Um dos métodos considerado como eficaz e abrangente para determinar as necessidades
162 hídricas da cultura é o Penman-Monteith (Abedinpour, 2017).

163 Diante da relevância das informações apresentadas, o objetivo deste estudo foi avaliar a
164 Pegada Hídrica da cultura do feijão sob a condição de irrigação, na região de Ecótono Cerrado-
165 Amazônia Matogrossense.

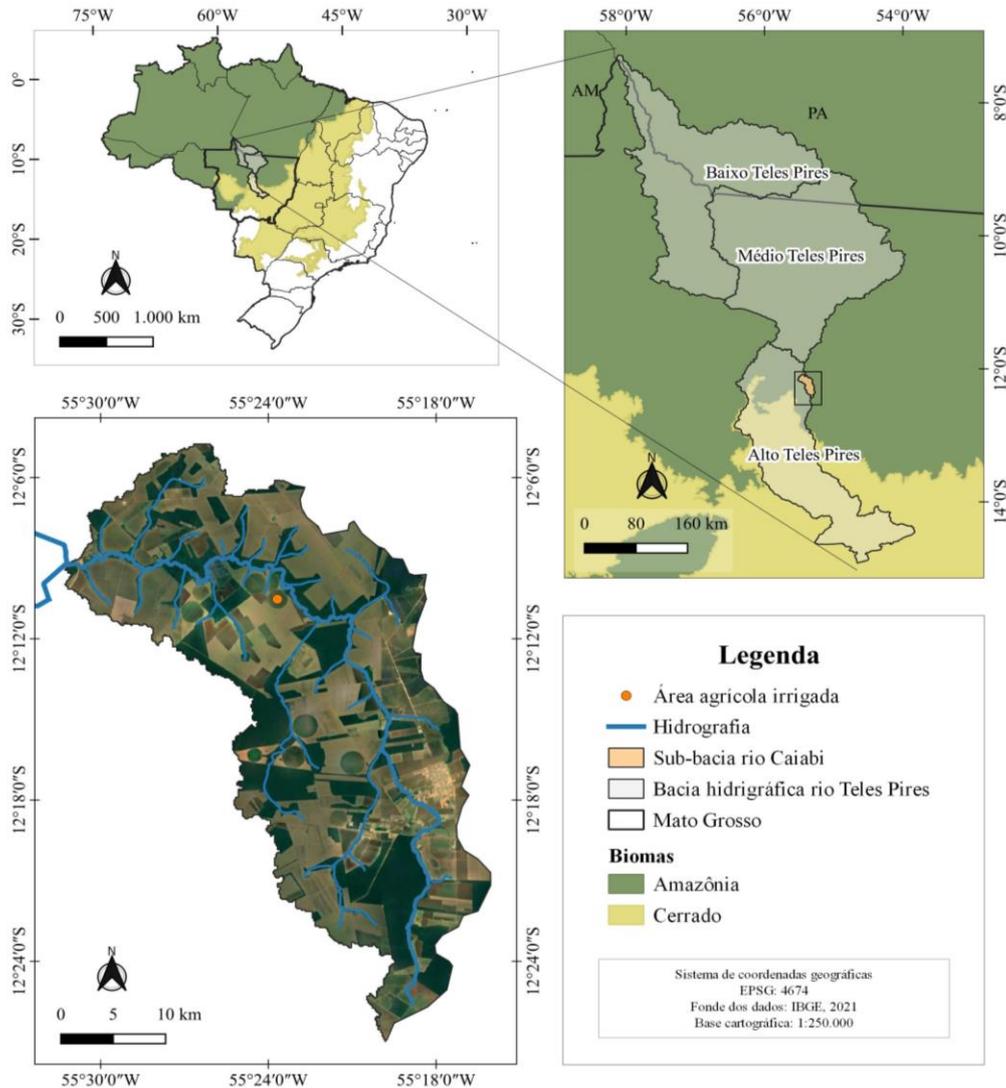
167 **Material e Métodos**

168 **Área de estudo**

169 O estudo foi realizado em uma área agrícola irrigada pertencente a Fazenda São José,
170 localizada no município de Sinop, Mato Grosso, Brasil. A área de estudo está inserida dentro dos
171 limites da sub-bacia hidrográfica do rio Caiabi, afluente do rio Teles Pires (Figura 1).

172

Figura 1. Localização da área de estudo com o cultivo do feijão inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Caiabi, na região do Ecótono Cerrado-Amazônia, Mato Grosso, Brasil.



173
174

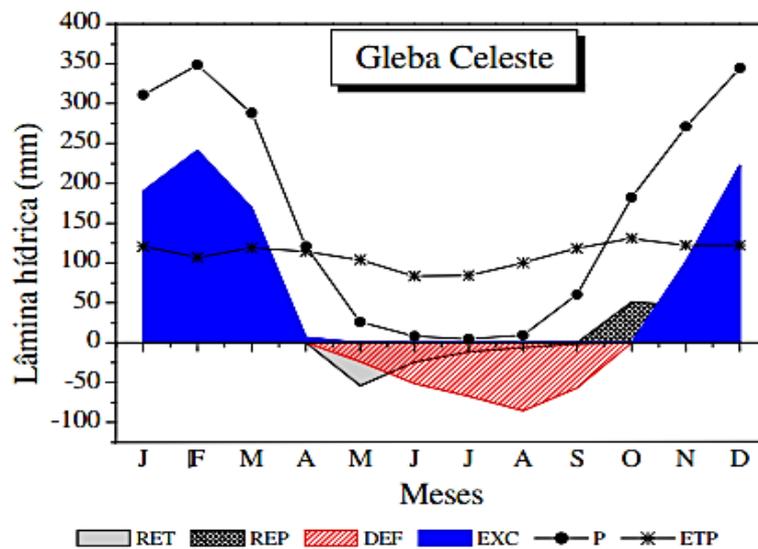
Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

175 O solo da região de estudo é, em sua maioria, de Latossolos, variando do Vermelho a
 176 Vermelho-Amarelo, todos distróficos, com características que respondem bem à fertilização para as
 177 culturas tropicais, além disso, em áreas baixas da região há a presença de Plintossolos (Alves *et al.*,
 178 2022). A vegetação natural é composta por formações savânicas e florestais (Ecótono Cerrado-
 179 Amazônia) que ocupa cerca de 30%, e os principais usos estão concentrados na agricultura com
 180 60,00% e pecuária 8,19%.

181 O clima da região Médio Norte do estado de Mato Grosso, segundo a classificação de Köppen
 182 é o tipo Aw (tropical quente e úmido), com duas estações hídricas bem definidas: chuvosa (outubro
 183 a abril) e seca (maio a setembro) (Figura 2). As temperaturas médias mensais variam de 24 e 27°C.
 184 A precipitação média anual é de 1.970 mm, concentrando mais de 1.700 mm na estação chuvosa, a
 185 evapotranspiração de referência oscila de 84 a 131 mm mês⁻¹, entre os períodos chuvoso e seco da
 186 região, respectivamente (Souza *et al.*, 2013).

187

Figura 2. Representação gráfica completa do balanço hídrico climatológico para a estação meteorológica convencional “Gleba Celeste” no período de 1971-2010, na região Norte do estado de Mato Grosso.



188

189

190

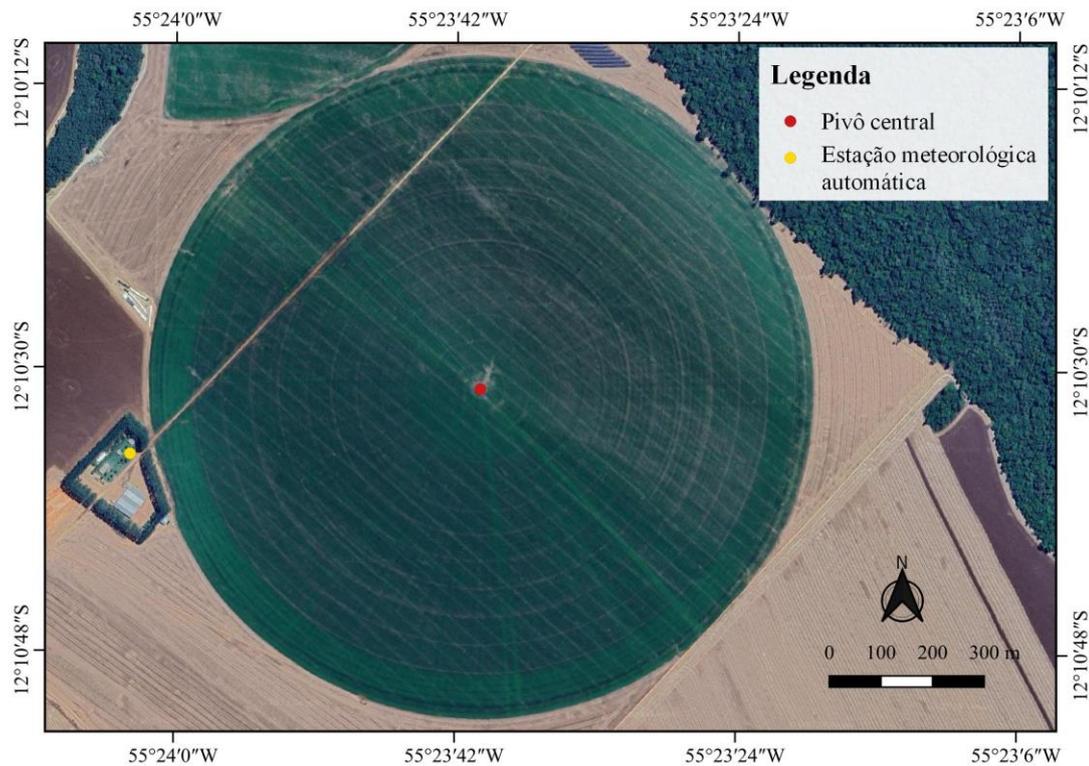
191 Cultura do feijão irrigado

192 O cultivo do feijão carioca foi conduzido em uma área de 130 hectares irrigada por pivô
 193 central (pivô central 01 da Fazenda) com giro de 360° (latitude de -12,175408° e longitude de -
 194 55,394594° e altitude de 377 m) (Figura 3). A coleta dos dados da lâmina de irrigação ocorreu em
 195 três períodos durante a estação seca da região nos anos de 2021, 2022 e 2023.

196

197

Figura 3. Área agrícola irrigada (pivô central 01) com o cultivo do feijão carioca pertencente a Fazenda São José, localizada no município de Sinop, Mato Grosso, Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

198

199

200

201 **Monitoramento meteorológico**

202 Durante o período experimental, as variáveis meteorológicas foram coletadas por uma estação
 203 meteorológica automática completa HOBO OnSet RX3000 com sistema de telemetria e
 204 armazenamento dos dados a cada 10 minutos. Essa estação fica localizada a 500 m da área irrigada.
 205 Algumas datas com falhas de dados foram preenchidas com os dados meteorológicos registrados pelo
 206 Sistema de Monitoramento Agrometeorológico da Embrapa Agricultura Digital a partir da estação
 207 meteorológica TRMM 4225 localizada nas coordenadas latitude $-12,25^{\circ}$ e longitude $-55,50^{\circ}$ e altitude
 208 de 386 m, distante a cerca de 13 km da área irrigada de estudo, com medidas armazenadas a cada 10
 209 minutos de temperatura do ar e precipitação (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico -
 210 Agritempo, 2023).

211 Quanto as falhas de dados, para obtenção da radiação global incidente empregou-se a
 212 metodologia dos coeficientes de Bristow e Campbell (1984), com os coeficientes calibrados
 213 regionalmente, conforme recomendações de Souza *et al.* (2017). A razão de insolação foi obtida a
 214 partir da equação de Angstrom-Prescott, com os coeficientes lineares (a) e angulares (b) calibrados
 215 regionalmente na escala sazonal, conforme recomendações de Martim e Souza (2021). A umidade
 216 relativa do ar foi obtida a partir da equação psicrométrica, com base na temperatura de bulbo seco e
 217 de bulbo úmido.

218 A evapotranspiração de referência (ET_0) diária foi obtida pelo método de Penman-Monteith
 219 proposta pela FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) (Eq. 01), calculada no software CROPWAT 8.0.

$$220 \quad ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T_m + 273,15} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (01)$$

221 Em que:

222 ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹);

223 Δ é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor no ponto de T_m (kPa.°C⁻¹);

224 R_n é o saldo de radiação (MJ.m⁻².dia⁻¹);

225 G é o fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹);

226 γ é o coeficiente psicrométrico (0,063 kPa.°C⁻¹);

227 T_m é a temperatura do ar média diária (°C);

228 U_2 é a velocidade do vento média diária a 2,00 m de altura (m.s⁻¹);

229 e_s é a pressão de saturação do vapor médio diária (kPa);

230 e_a é a pressão parcial de vapor médio diária (kPa).

231

232 **Balço hídrico da cultura**

233 A evapotranspiração da cultura do feijão (ET_c) foi determinada pelo produto entre a
 234 evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith e os coeficientes de cultivo
 235 inicial (0,4), médio (1,15) e final (0,35) listados pelo boletim da FAO-56 (Eq. 02).

$$236 \quad ET_c = K_c * ET_0 \quad (02)$$

237 Em que:

238 ET_c – a evapotranspiração da cultura (mm.dia⁻¹);

239 K_c – coeficiente de cultivo;

240 ET_0 – a evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹).

241

242 As fases da cultura do feijão foram ajustadas conforme o ciclo de cada ano avaliado, com base
 243 no ciclo médio descrito pela FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) (Tabela 2).

Tabela 2. Fases da cultura e coeficiente de cultivo da cultura do feijão segundo a FAO 56.

Fases da cultura	Dias	Coefficiente de cultivo (Kc)
Fase inicial	15	0,4
Fase desenvolvimento	25	1,15
Fase intermediária	35	1,15
Fase final	20	0,35
Ciclo	95	-

244 Fonte: Adaptado de Allen *et al.* (1998).

245 Para determinar a demanda hídrica da cultura potencial utilizou-se o sistema CROPWAT 8.0
 246 que necessita, além de dados meteorológicos e da cultura, que sejam inseridos também os dados de
 247 solo para estimar o coeficiente de estresse hídrico (Ks) e, em seguida fazer o ajuste da
 248 evapotranspiração. A Equação 03 expressa o cálculo da evapotranspiração ajustada (ETa).

249

$$250 \quad ETa = Ks * ETc \quad (03)$$

251 Em que:

252 ETa – a evapotranspiração ajustada, (mm.dia⁻¹);

253 Ks – coeficiente de estresse hídrico;

254 ETc – a evapotranspiração da cultura, (mm.dia⁻¹).

255

256 O parâmetro Ks, por sua vez, depende das seguintes variáveis: da água total disponível, da
 257 depleção estimada com o balanço hídrico do solo e da água que pode ser facilmente aproveitável pela
 258 cultura (AFA). Quando o consumo de água da planta ocorre no limite da água que pode ser facilmente
 259 aproveitável, o Ks é igual a 1, mas se a planta consumir uma taxa de água maior que a reposição de
 260 água facilmente aproveitável, o Ks será menor que 1.

261 Os cálculos realizados foram efetivados utilizando a irrigação automática no CROPWAT, em
 262 que o sistema acaba gerando as lâminas de irrigação nas datas em que a AFA está próxima do estresse
 263 hídrico e, com isso, os resultados de Ks acabam sendo iguais a 1 durante todo o ciclo da planta.

264 Para a cultura do feijão, o cálculo da Pegada Hídrica é realizado pela determinação da
 265 evapotranspiração com o uso da água da chuva (verde), e da água de mananciais (azul) e de lixiviação
 266 (cinza) para, posteriormente, a necessidade hídrica de cada “cor” e, por fim, a Pegada Hídrica verde,
 267 azul e cinza conforme descrito a seguir (Hoekstra e Chapagain, 2007).

268 A evapotranspiração verde (ETverde) foi calculada como o mínimo entre os valores da
 269 evapotranspiração total da cultura (ETc) e a precipitação efetiva total (Peff), conforme Equação 04
 270 (Hoekstra *et al.*,2011):

271

$$272 \quad ETverde = \min(ETc; Peff) \quad (04)$$

273

274 A evapotranspiração azul (ETazul) foi calculada pelo máximo entre os valores zero e a
 275 diferença entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a precipitação efetiva (Peff), conforme
 276 Equação 05 (Hoekstra *et al.*,2011):

277

$$278 \quad ETazul = \max(0; [ETc - Peff]) \quad (05)$$

279

280 Assim, quando a precipitação efetiva é maior que a evapotranspiração da cultura, a ETazul é
 281 igual a zero. Já quando a precipitação efetiva é zero, a ETazul é igual à ETc.

282 As componentes verde (NHCverde) e azul (NHCazul) da Necessidade Hídrica da Cultura
 283 (NHC, $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) são calculadas com base na evapotranspiração diária (ETverde e ETazul,
 284 respectivamente, $\text{mm}.\text{dia}^{-1}$), acumulada durante o seu ciclo completo de desenvolvimento, conforme
 285 as Equações 06 e 07 (Hoekstra *et al.*,2011):

286

$$287 \quad \text{NHCverde} = 10 * \sum_{d=1}^{d=L} \text{ETverde} \quad (06)$$

288

$$289 \quad \text{NHCazul} = 10 * \sum_{d=1}^{d=L} \text{ETazul} \quad (07)$$

290

291 O fator 10 visa converter a profundidade da água (mm) em volume de água por superfície
 292 terrestre ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$). O somatório é feito ao longo do período, desde o dia do plantio ($d=1$) até o dia da
 293 colheita ($d=L$) (L - duração do período de desenvolvimento da cultura, que é expressa em dias).

294 A Pegada Hídrica verde é a água da chuva que fica armazenada nas folhas das plantas e no
 295 solo, que é facilmente aproveitada e quantifica a evapotranspiração verde (ETverde). É dada pelo
 296 mínimo entre os valores da evapotranspiração da cultura (ETc) e da precipitação efetiva (Peff).

297 A Pegada Hídrica azul determina a quantidade de água de mananciais superficiais e
 298 subterrâneos utilizada no atendimento à demanda hídrica da cultura na produção, principalmente na
 299 época da seca quando se tem baixos volumes de chuva. O valor da Pegada Hídrica azul (PHazul, $\text{m}^3.\text{t}^{-1}$)
 300 ¹⁾ que é dado pela Necessidade Hídrica azul da Cultura (NHCazul, $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$), tem na evapotranspiração
 301 azul (ETazul) o valor máximo entre os valores zero e a diferença entre a evapotranspiração da cultura
 302 (ETc) e a precipitação efetiva (Peff), sendo tanto maior quanto mais seco for o clima da região ou o
 303 período de cultivo utilizado.

304 Assim, as componentes verde (PHverde) e azul (PHazul) da Pegada Hídrica da cultura foram
 305 calculadas pelas Equações 08 e 09 (Hoekstra *et al.*,2011):

306

$$307 \quad \text{PHverde} = \frac{\text{NHCverde}}{\text{P}} \quad (08)$$

308

$$309 \quad \text{PHazul} = \frac{\text{NHCazul}}{\text{P}} \quad (09)$$

310

311 Em que:

312 PHverde – Pegada Hídrica verde da cultura ($\text{m}^3.\text{t}^{-1}$);

313 PHazul – Pegada Hídrica azul da cultura ($\text{m}^3.\text{t}^{-1}$);

314 NHCverde - Necessidade Hídrica verde da Cultura ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$);
 315 NHCazul - Necessidade Hídrica azul da Cultura ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$);
 316 P - Produtividade da cultura ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

317

318 A Pegada Hídrica cinza é a água utilizada para diluir poluentes, e na agricultura é calculada
 319 considerando produção de grãos, quantidade de produto químico aplicado por hectare e taxa de
 320 lixiviação do produto químico. Com isso é estimada a quantidade de água necessária para diluir o
 321 poluente, sendo que as concentrações máxima e natural de um poluente em um rio são parâmetros
 322 para o cálculo da Pegada Hídrica cinza (Hoekstra *et al.*, 2011).

323 Atribuiu-se o valor de 10% para a fração de lixiviação, recomendado por Chapagain *et al.*
 324 (2006). O valor limite aceitável dos fertilizantes nitrogenados seguiu o padrão da legislação para
 325 águas doces que é de $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (CONAMA, 2005). A Pegada Hídrica cinza é, portanto, um indicador
 326 do grau de poluição da água doce, calculada em função da carga de poluente e da produtividade da
 327 cultura, calculada de acordo com a Equação 10 (Hoekstra *et al.*, 2011):

328

$$329 \quad \text{PHcinza} = \frac{\text{CP}}{\frac{\text{Cmax} - \text{Cnat}}{\text{P}}} \quad (10)$$

330 Em que:

331 PHcinza – Pegada Hídrica cinza da cultura ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$);
 332 CP - Carga de Poluentes que entra no sistema ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) (taxa de lixiviação, considerada como
 333 10% da taxa de fertilizante aplicado à cultura (Chapagain *et al.*, 2006);
 334 Cmax - Concentração máxima aceitável de poluentes no sistema ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 335 Cnat - Concentração natural em um corpo de água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);
 336 P - Produtividade da cultura ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

337

338 Considerou-se o valor 0 (zero) para a concentração natural do poluente no corpo hídrico
 339 (Cnat), pois nesse estudo não houve avaliação, análise e espacialização de corpos hídricos ao entorno
 340 das áreas agrícolas. Caso a concentração natural do corpo hídrico fosse conhecida, sendo ela maior
 341 que 0 (zero), o valor da Pegada Hídrica cinza seria maior do que o encontrado.

342

343 **Cálculos das demandas**

344

345 Para calcular a demanda hídrica da cultura potencial utilizou-se o sistema CROPWAT 8.0,
 346 que é um software de domínio público desenvolvido e disponibilizado pela FAO (*Food and*
 347 *Agriculture Organization of the United Nations*). Os cálculos realizados por este software são

348 baseados na publicação “*Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water*
 349 *requirements*” (Allen *et al.*, 1998). Como dados de entrada o modelo necessita dos dados climáticos
 350 do local de avaliação, sendo eles temperatura do ar mínima e máxima (°C), umidade relativa do ar
 351 (%), velocidade do vento (km.h⁻¹), horas de insolação (h), dados pluviométricos (mm) e precipitação
 352 efetiva (mm). O software necessita ainda, além de dados meteorológicos e da cultura, que sejam
 353 inseridos também os dados de solo para estimar o coeficiente de estresse hídrico (Ks) e, em seguida
 354 fazer o ajuste da evapotranspiração. Assim, utilizou-se dados climáticos da região obtidos na estação
 355 meteorológica, Ks, Kc e dados do solo encontrados e recomendados pela literatura, dados da cultura
 356 e manejo obtidos com o produtor rural, para o sistema CROPWAT 8.0 realizar o cálculo das seguintes
 357 variáveis: evapotranspiração de referência (ET₀) calculado pela equação de Penman-Monteith,
 358 evapotranspiração da cultura (ET_c), evapotranspiração ajustada (ET_a), coeficiente de estresse hídrico
 359 (Ks), Necessidade Hídrica da Cultura (NHC), necessidade líquida de irrigação (NIR) e cronograma
 360 de irrigação.

361 Com os dados fornecidos pelo CROPWAT 8.0 e utilizando as fórmulas encontradas na
 362 literatura, fizemos uso do Software Excel para calcular a evapotranspiração verde (ET_{verde}), a
 363 evapotranspiração azul (ET_{azul}), as componentes verde (NHC_{verde}) e azul (NHC_{azul}) da Necessidade
 364 Hídrica da Cultura (NHC), as componentes verde (PH_{verde}), azul (PH_{azul}) e cinza (PH_{cinza}) da
 365 Pegada Hídrica e, finalmente, a Pegada Hídrica Total PH (Total).

366

367 **Resultados e Discussão**

368 A variedade cultivada foi a Dama Carioca TAA S2, em que é comumente citado como feijão
 369 de inverno, e tendo o início do plantio ocorrido no final do mês de maio e o início da colheita no final
 370 de agosto, tendo média de 92 dias de ciclo nas safras dos anos de 2021, 2022 e 2023 (Tabela 3). A
 371 taxa de aplicação (TAQ) de nitrogênio (N) fornecida pela administração da Fazenda São José e
 372 utilizada para calcular a Pegada Hídrica cinza, foi de 100 kg.ha⁻¹. A produção do feijão carioca
 373 cultivado em pivô central praticamente não variou no período avaliado, tendo média de 379.728,0
 374 toneladas e produtividade de 2.921,0 kg.ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Informações gerais da cultura do feijão irrigado por pivô central em uma área de 130 hectares pertencente a Fazenda São José, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

Ano	Início do plantio	Início da colheita	Ciclo (dias)	TAQ	Produção (t)	Produtividade (kg.ha ⁻¹)
				N (kg.ha ⁻¹)		
2021	29/05/2021	29/08/2021	93		379.728,0	2.921,0
2022	24/05/2022	22/08/2022	91	100	382.376,0	2.941,4
2023	30/05/2023	28/08/2023	91		377.080,0	2.900,6

média	-	92	379.728,0	2.921,0
--------------	----------	-----------	------------------	----------------

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

375

376

377 A produtividade média obtida no experimento (2.921,0 kg.ha⁻¹), superou em 176,9% a
 378 produtividade média nacional (1.055,0 kg.ha⁻¹), sendo 74,7% maior do que a média da produtividade
 379 do estado do Mato Grosso (1.672,2 kg.ha⁻¹) e 43,7% maior do que a média da produtividade da região
 380 Centro-Oeste (2.032,9 kg.ha⁻¹) para o mesmo período. A média de produtividade de feijão da área
 381 estudada, para os últimos três anos, na verdade, supera a média de produtividade de qualquer estado
 382 da Federação Brasileira para o mesmo período, conforme dados da CONAB (2023).

383 De fato, as maiores médias de produtividade, por estado, considerando o mesmo período, são
 384 Distrito Federal (2.729,8 kg.ha⁻¹), Goiás (2.561,4 kg.ha⁻¹), seguidos por São Paulo (2.294,0 kg.ha⁻¹),
 385 Santa Catarina (1.706,6 kg.ha⁻¹) e o próprio estado de Mato Grosso (1.672,2 kg.ha⁻¹) (CONAB, 2023).

386 Com o acompanhamento da safra de feijão irrigado também foram monitorados os dados
 387 meteorológicos e calculada a demanda evapotranspirométrica (ETc e ETa) e a Necessidade Hídrica
 388 da Cultura, para determinar os diferentes componentes da Pegada Hídrica da cultura do feijão de cada
 389 safra. Como o ciclo da produção de feijão de inverno acontece todo dentro do período seco da região,
 390 vale destacar que a precipitação medida durante as safras foi igual à 0 mm nos três anos da pesquisa
 391 (Tabela 4).

392

Tabela 4. Dados de precipitação, demandas de evapotranspiração da cultura (ETc), do índice de disponibilidade de água no solo (Ks), da evapotranspiração ajustada (ETa) e da Necessidade Hídrica da Cultura (NHC) no ciclo da cultura do feijão irrigado no médio norte do estado de Mato Grosso, safras de 2021 a 2023.

Safra	Precipitação no ciclo (Peff) (mm)	ETc (mm)	Ks (taxa)	ETa (mm)	NHC (m³.ha⁻¹)
2021		239,3		239,3	2.393,0
2022	0	226,7	1	226,7	2.267,0
2023		248,3		248,3	2.483,0
Média	0	238,1	1	238,1	2.381,0

393

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

394

395 Os resultados das evapotranspirações (ETc e ETa) e da Necessidade Hídrica da Cultura (NHC)
 396 foram calculados pelo CROPWAT, com base nos dados meteorológicos da região de estudo, e
 397 totalizando a evapotranspiração diária da cultura (ETc) em cada ciclo da safra, bem como o resultado
 398 da evapotranspiração acumulada ajustada da referida cultura. A Necessidade Hídrica da Cultura
 399 encontrada no presente estudo foi em média de 2.381,0 m³.ha⁻¹, esse resultado foi menor que o
 400 encontrado por outros trabalhos (Rondon, 2023; Santos, Oliveira e Madi, 2023; Costa *et al.*, 2017;

401 Mantovani *et al.*, 2012; Mekonnen e Hoekstra, 2011; Hoekstra e Hung, 2002) e maior que outros
 402 estudos, como o de Sales *et al.* (2017).

403 Fischer Filho e Zocoler (2016) estimaram necessidade hídrica de 3.930,0 m³.ha⁻¹, para Ilha
 404 Solteira, em São Paulo, enquanto Mendonça *et al.* (2007) mediram a necessidade de irrigação para o
 405 feijão comum uma demanda de 2.635,0 m³.ha⁻¹, para a região de Campos dos Goytacazes, no Rio de
 406 Janeiro. Costa *et al.* (2017) também estudando a aplicação de água por irrigação na cultura do feijão,
 407 encontraram 4.370,0 m³.ha⁻¹, de demanda para os Tabuleiros Costeiros de Alagoas - AL. Enquanto
 408 Sales *et al.* (2017) estudaram a aplicação de lâminas para as cultivares de feijão Majestoso e Valente
 409 em Colatina – ES, e com lâminas variando de 1.038,0 a 3.197,0 m³.ha⁻¹, para a primeira cultivar e de
 410 lâminas entre 945,0 e 3.277,0 m³.ha⁻¹.

411 Observou-se que o valor da taxa de estresse hídrico (Ks), necessário para calcular a
 412 evapotranspiração ajustada, foi sempre igual a 1, uma vez que, quando o consumo de água da planta
 413 é menor ou igual a água que pode ser facilmente aproveitável pela cultura, o Ks é igual a 1. Isso foi
 414 verificado no cultivo de feijão avaliado no presente estudo, porque a irrigação tinha turno de rega de
 415 2 dias e a aplicação de lâmina foi correspondente a evapotranspiração da cultura acumulada (ETc
 416 acumulada), sendo considerado a irrigação com lâmina 100% da ETc.

417 Na Tabela 5 pode-se verificar os valores da Pegada Hídrica Total, que é dada pela soma das
 418 Pegadas Hídricas azul, verde e cinza, em cada ano do estudo. O valor médio das Pegadas Hídricas
 419 azul, verde e cinza calculadas, correspondem, respetivamente, a 70,43%, 0,0% e 29,57% da Pegada
 420 Hídrica Total média encontrada neste trabalho, que foi de 1157,96 m³.t⁻¹, bem abaixo dos valores
 421 encontrados na literatura.

422

Tabela 5. Pegada hídrica (azul, verde, cinza e total) do feijão irrigado por pivô central em uma área de 130 hectares pertencente a Fazenda São José, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

Safra	PHazul (m ³ .t ⁻¹)	PHverde (m ³ .t ⁻¹)	PHcinza (m ³ .t ⁻¹)	PH (Total) (m ³ .t ⁻¹)
2021	819,52	0	342,47	1,161,99
2022	770,83	0	340,02	1.110,85
2023	856,21	0	344,83	1.201,03
Média	815,52	0	342,44	1157,96
(%)	(70,43%)	(0,00%)	(29,57%)	(100,00%)

423 Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

424

425 Hoekstra e Hung (2002), por exemplo, estimaram a Pegada Hídrica (PH) do feijão em 5.846
 426 m³.t⁻¹, considerando uma produtividade do feijão de apenas 0,7 t.ha⁻¹, valor este que era uma média
 427 do Brasil no ano de 1999, e que demonstra, devido a questão da produtividade, que a Pegada Hídrica
 428 apresenta baixa eficiência do uso da água. Posteriormente, Mekonnen e Hoekstra (2011) estimaram

429 a Pegada Hídrica Total média para alguns cultivos, e os valores para o feijão resultaram em uma
430 média global de $5.053 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, considerando Brasil, China, Índia, USA, Rússia, Canadá, Indonésia,
431 Argentina e Paquistão.

432 Rondon (2023), por sua vez, encontrou resultados estimados de PH para o feijão de $2.084 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$
433 ¹ no Cerrado e $1.898 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ na transição Cerrado-Amazônia, no estado de Mato Grosso, resultados
434 acima do resultado encontrado no presente trabalho, o que sugere melhor análise de dados e cálculos
435 estimativos (metodologia usada pelo referido autor), buscando explicações que demonstrem o porquê
436 da diferença, visto que este estudo e o de Rondon (2023) foram realizados para regiões bem próximas,
437 com a diferença que este estudo foi feito com dados coletados na pesquisa em campo.

438 Na mesma pesquisa, Rondon (2023) também estimou os valores da PH para as culturas de
439 soja e milho, encontrando $1.486 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ no Cerrado e $1.476 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ na transição Cerrado-Amazônia para
440 a soja, e $1.016 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ no Cerrado e $1.052 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ na transição Cerrado-Amazônia para o milho. Costa
441 *et al.* (2021), em estudo realizado na região oeste da Bahia, para o período de 2012 a 2017,
442 encontraram Pegada Hídrica Total média de $1.993,2 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para a soja (produtividade média da BA
443 de $2,81 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ no período (CONAB, 2023) e de $654,3 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para o milho (produtividade média da BA
444 de $3,29 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ no período (CONAB, 2023).

445 Em outros estudos, Sales *et al.* (2017) estudaram a aplicação de lâminas para as cultivares de
446 feijão majestoso e valente em Colatina – ES, obtendo PH (verde e azul) mínima de $653,0 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ e
447 máxima de $1.182,5 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para a cultivar majestoso. Já com a cultivar valente, a PH foi de $115,4$ a
448 $863,0 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$. Costa *et al.* (2017) com estudos de diferentes sistemas de irrigação na cultura do feijão,
449 encontraram $437,0 \text{ mm}$ de média de demanda, uma produtividade média de $1.979,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, obtendo
450 uma PH de $2.207,7 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$. Enquanto Mantovani *et al.* (2012), em estudos de lâminas de irrigação para
451 o feijão carioca, obtiveram as maiores pegadas hídricas (PH) de $1.419,3 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, na região de Cristalina
452 - GO. Santos, Oliveira e Madi (2023) estudando a Pegada Hídrica do feijão em Sergipe, de 2017 a
453 2020, obtiveram Pegada Hídrica (verde e azul) de $2.982,6 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$.

454 Os resultados encontrados para as três culturas nas duas regiões estudadas por Rondon (2023)
455 indicaram, segundo a pesquisadora, que quanto maior a produtividade mais eficiente será a PH, como
456 no caso do milho (produtividade média de $6,03 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, em ambos os biomas estudados), que é
457 altamente produtivo e não utiliza tanta água, ao contrário do feijão irrigado (produtividade média de
458 $2,28 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, em ambos os biomas estudados), que possui baixa produtividade e utiliza um alto volume
459 de água. A soja (produtividade média de $3,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, em ambos os biomas estudados), por sua vez,
460 apesar de possuir uma alta Pegada Hídrica verde, consegue ter o consumo mais racional do que o
461 feijão e tem o potencial de reduzir a Pegada Hídrica cinza quando não necessitar de adubação
462 nitrogenada.

463 Pelos resultados encontrados neste trabalho, bem como comparações de estudos encontrados
464 na literatura, mesmo que com produção de diferentes culturas de grãos, percebe-se que a afirmação
465 de que quanto maior for a produtividade mais eficiente será a PH é facilmente notada quando
466 comparamos os dados de produtividade versus Pegada Hídrica de grãos diferentes cultivados em uma
467 mesma região (veja por exemplo os dados de produtividade e PH do feijão, milho e soja apresentados
468 por Rondon (2023) para cada uma das regiões Cerrado e Cerrado-Amazônia), assim como quando
469 comparamos os dados de produtividade versus Pegada Hídrica do mesmo grão cultivado em uma
470 mesma região (veja por exemplo os dados de produtividade e PH do feijão apresentados por Rondon
471 (2023) para o Cerrado-Amazônia e os dados que apresentamos neste trabalho para o feijão cultivado
472 nesta mesma região).

473 No entanto, quando comparamos resultados da literatura para a produtividade versus Pegada
474 Hídrica do mesmo grão cultivado em regiões diferentes, temos que ter mais cautela para conclusões,
475 pois muitos fatores influenciam na eficiência da PH em regiões diferentes, e nem sempre uma maior
476 produtividade implica numa maior eficiência da PH, isso pode ser verificado por Rondon (2023) que
477 encontrou PH de $1.016 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ no Cerrado e $1.052 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ na transição Cerrado-Amazônia para o milho,
478 tendo produtividade média de $6,03 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ em ambas as regiões estudadas, já Costa *et al.* (2021)
479 encontraram PH de $654,3 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para o milho na região oeste da Bahia, com uma produtividade média
480 na BA de $3,29 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ no período estudado, conforme dados da CONAB (2023).

481 Pode-se inferir que para uma cultura ter alta produtividade é necessário, ao menos, que ela
482 não passe por estresse hídrico (falta de água) em nenhuma fase do desenvolvimento, isto porque, as
483 plantas são capazes de expressar o seu maior potencial produtivo quando não sofrem estresse hídrico
484 em nenhum momento, ou seja, quando a evapotranspiração ajustada (ETa) é igual a evapotranspiração
485 da cultura (ETc), fato que ocorreu com o presente estudo. Todavia outros estudos demonstram que o
486 não atendimento a demanda total de água (100% ETc) levam a menores produções e assim
487 produtividades, ou seja, caso a oferta hídrica seja menor do que a demanda evapotranspirativa da
488 planta em qualquer uma das fases fenológicas, ocorrerá déficit hídrico e, assim o rendimento da planta
489 será menor do que o seu potencial, em função da quantidade de água que foi ofertada (Dos Santos *et*
490 *al.*, 2022). Além disso, a irrigação de forma exclusiva é ajustada à evapotranspiração da cultura,
491 suprimindo a necessidade e evitando o excesso de água disponível, que também pode ser prejudicial em
492 algumas fases da cultura.

493 A Figura 4 mostra o valor da evapotranspiração diária da cultura (ETc), em mm, durante todo
494 o ciclo, para cada um dos três anos avaliados. A ETc depende do valor do coeficiente de cultivo (Kc),
495 que muda conforme a fase de desenvolvimento da planta como vimos na Tabela 2.

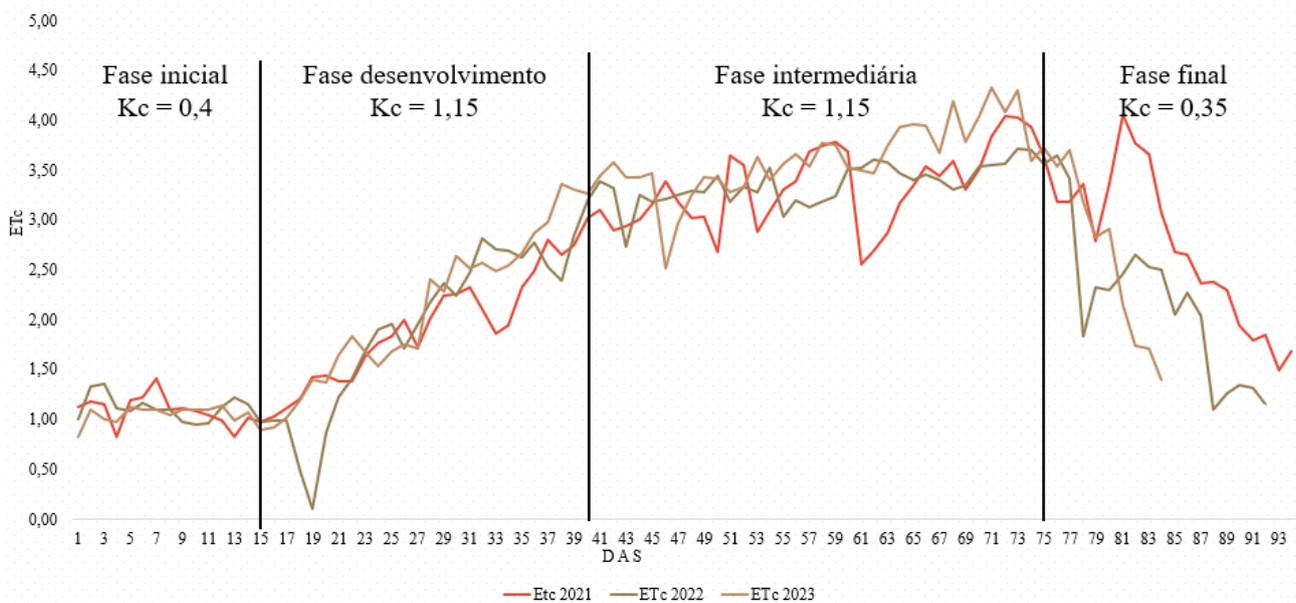
496 Na fase inicial de desenvolvimento da planta (primeiros 15 dias) observa-se que o consumo
497 de água é menor, refletido num valor pequeno para a ETc, mas com o desenvolvimento da planta o

498 consumo de água aumenta, refletido pelo aumento da ETc durante toda a fase de desenvolvimento
 499 (25 dias) e a fase intermediária (35 dias). Já na fase final do desenvolvimento da planta, a necessidade
 500 de água começa a decrescer, como podemos observar pela diminuição da ETc durante esta última
 501 fase, que tem duração média de 20 dias (Figura 4).

502 A Pegada Hídrica azul determina a quantidade de água de mananciais superficiais e
 503 subterrâneos utilizada no atendimento à demanda hídrica da cultura na produção, principalmente na
 504 época da seca quando se tem baixos volumes de chuva. O valor médio da Pegada Hídrica azul
 505 (PHazul) que encontramos neste trabalho foi de $815,52 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, considerando as três safras. Rondon
 506 (2023) estimou os valores da Pegada Hídrica azul do feijão de inverno em dois biomas no estado do
 507 Mato Grosso, nas safras de 2015/2016 a 2020/2021, chegando a uma média da PHazul de $1.295,18$
 508 $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ no Cerrado e de $1.355,18 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ na transição Cerrado - Amazônia, bem além dos $815,52 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$
 509 encontrados neste trabalho.

510

Figura 4. Evapotranspiração da cultura (ETc) ao longo do ciclo da cultura do feijão, nos anos de 2021, 2022 e 2023.



511

512

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

513

514 A Pegada Hídrica verde é a água da chuva que fica armazenada nas folhas das plantas e no
 515 solo, que é facilmente aproveitada. Os dados mostraram que não existe percentual de água verde
 516 embutida no cultivo do feijão e isso se deve ao do plantio ser feito já no período de seca e a colheita
 517 ser realizada no máximo até os primeiros dias de setembro, antes do início do período chuvoso.

518 Diferentemente deste trabalho, os pesquisadores Mekonnen e Hoekstra (2011) estimaram a
 519 Pegada Hídrica verde para alguns cultivos, e os valores para o feijão resultaram em uma média global

520 da PHverde de $3.945 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$. O estudo foi realizado considerando Brasil, China, Índia, USA, Rússia,
521 Canadá, Indonésia, Argentina e Paquistão.

522 Rondon (2023) observa muito bem que, apesar de ser importante que se estabeleça um valor
523 que abrange uma área maior, recentemente vêm surgindo estudos de Pegada Hídricas locais que
524 sugerem valores muito diferentes da média global, como é o caso do feijão cultivado no inverno em
525 algumas regiões do Brasil que geralmente, terá sua Pegada Hídrica verde igual a zero por causa do
526 período de seca. Os resultados que apresentamos neste trabalho são mais uma prova disso, já que não
527 houve precipitação nenhuma de chuva durante os períodos de plantio do feijão de inverno nos três
528 anos considerados, resultando em PHverde igual à zero nos três anos. O mesmo autor estimou os
529 valores da Pegada Hídrica verde do feijão de inverno em dois Biomas no Estado do Mato Grosso, nas
530 safras de 2015/2016 a 2020/2021, chegando a uma média da PHverde de $525,78 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ no Cerrado e
531 de $279,81 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ na transição Cerrado - Amazônia, sugerindo assim que houve alguma precipitação
532 de chuva durante o ciclo da cultura em ambos os Biomas.

533 A Pegada Hídrica cinza é a água utilizada para diluir poluentes, e na agricultura é calculada
534 considerando produção de grãos, quantidade de produto químico aplicado por hectare e taxa de
535 lixiviação do produto químico (lixiviação do produto químico pelo solo). Com isso é estimada a
536 quantidade de água necessária para diluir o poluente, pois, além da quantidade de água, é importante
537 manter a qualidade da água dos rios. O valor da Pegada Hídrica cinza para safras de 2021, 2022 e
538 2023 foi, em média, de $342,44 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, tendo a PHcinza se mantida praticamente constante nos três
539 anos, como podemos observar na Tabela 5, uma vez que a taxa de Nitrogênio (N) aplicada a cada
540 safra foi a mesma ($100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e a produtividade nas três safras praticamente não variou, variáveis
541 estas envolvidas no cálculo da PHcinza.

542 Os pesquisadores Mekonnen e Hoekstra (2011) estimaram a Pegada Hídrica cinza para alguns
543 cultivos, os valores para o feijão resultaram em uma média global de $983 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$. O estudo foi realizado
544 considerando Brasil, China, Índia, USA, Rússia, Canadá, Indonésia, Argentina e Paquistão. Rondon
545 (2023), estimou os valores da Pegada Hídrica cinza do feijão de inverno em dois Biomas no estado
546 do Mato Grosso, nas safras de 2015/2016 a 2020/2021, chegando a uma média da PHcinza de $263,67$
547 $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ tanto para o Cerrado quanto para a transição Cerrado - Amazônia, frente aos $342,44 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$
548 encontrados neste trabalho. Isso se deve ao fato de termos utilizado uma taxa de aplicação de
549 Nitrogênio de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para calcular a PHcinza (taxa essa fornecida pela administração da
550 fazenda), enquanto Rondon (2023) adotou taxa de $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Usando essa mesma taxa de $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
551 adotada em Rondon (2023) o cálculo da PHcinza teria resultado de $205,46 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$.

552 Comparando o resultado encontrado neste trabalho com valores de Pegada Hídrica da cultura
553 do feijão observados na literatura, bem como de outras culturas, verificamos que o valor resultante
554 deste estudo é inferior aos das literaturas consultadas, podendo-se elencar algumas possíveis causas

555 que possam justificar esses resultados, como: a alta produtividade da área de estudo comparando-a
556 com as informações disponíveis na Tabela 1; o fato da safra ser totalmente no período de seca, onde
557 a Necessidade Hídrica da Cultura foi suprida por irrigação não havendo assim estresse hídrico, que é
558 uma das principais causas da baixa produtividade; e ainda, outro motivo aparente pode ser o baixo
559 valor de ET_0 , com ciclo entre maio a agosto evitando os meses mais quentes segundo (Souza *et al.*,
560 2013) em detrimento de outros trabalhos com feijão e outras culturas de grãos, relacionadas ao
561 período de plantio e colheita de acordo com dados médios obtidos em entidades de monitoramento
562 de safras (CONAB, 2023).

563

564 **Conclusões**

565 Na região do Médio Norte do estado de Mato Grosso a média da Pegada Hídrica (safra 2021
566 a 2023) para o feijão Dama Carioca TAA S2 foi de $1.157,96 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, sendo 70,43% referente à Pegada
567 Hídrica azul e 29,57% referente à Pegada Hídrica cinza, sendo a PH verde igual a 0.

568 Os resultados obtidos apontam uma produção com eficiência no uso da água na cultura do
569 feijão durante os anos de 2021 a 2023, pois apresentou a menor Pegada Hídrica encontrada para esta
570 cultura no Brasil.

571 Uma avaliação da demanda evapotranspirométrica e da necessidade hídrica da cultura do
572 feijão para a região de estudo, indica um grande potencial de uso eficiente da água para a produção
573 desta cultura nesta região, comparativamente ao cultivo em outras regiões.

574 A comparação dos diferentes valores das componentes da Pegada a Hídrica deste estudo com
575 os resultados de outros estudos, ressalta a variabilidade desses indicadores, indicando a necessidade
576 de futuras e melhores avaliações de todo os sistemas de produção, considerando as condições
577 meteorológicas e edáficas locais, bem como as práticas agrícolas específicas para a tomada de decisão
578 na produção de alimentos com uso de índices de Pegada Hídrica.

579 Apesar da Pegada Hídrica não medir eficiência do uso da água em sistemas de irrigação, este
580 índice se mostrou um bom indicador para a gestão de recursos hídricos, em que estes resultados
581 contribuem não apenas para o conhecimento científico, mas também fornecem informações valiosas
582 para a tomada de decisões relacionadas à gestão sustentável da água e à busca por práticas agrícolas
583 mais eficientes.

584

585 **Agradecimentos**

586 Ao produtor rural Marcelo Knappi e sua equipe pela sempre e pronta disponibilidade de trabalho conjunto
587 com nosso grupo TREHCO; à Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Campus de Sinop, pelo
588 apoio logístico concedido; e ao PPGCAM pela oportunidade em cursar o mestrado.

589

590 **Participação do autor:** Redação, revisão e edição. Metodologia e investigação.

591 **Aprovação ética ou licenças de pesquisa:** não se aplica.

592 **Disponibilidade dos dados:** os dados não estão disponíveis em nenhuma base de dados ou
593 repositórios.

594 **Fomento:** não houve nenhuma via de financiamento.

595 **Conflito de Interesses:** o autor declara não haver conflito de interesses.

596

597 Referências

598 Abedinpour M. 2017. Wheat water use and yield under different salinity of irrigation water. Journal
599 of Water and Land Development. No. 33 p. 3–9. DOI:[10.1515/jwld-2017-0013](https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0013)

600

601 Agritempo. 2023. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: Estação Meteorológica.
602 Disponível em: [https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=](https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=MT)
603 [MT](https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=MT). Acesso em: 12 out. 2023.

604

605 Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for
606 computing crop water requirements. In: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome,
607 Italy. 300p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>. Acesso em: 15 ago. 2023.

608

609 Alves, M. A. B.; Borella, D. R.; Da Silva Luz, C. C.; Castagna, D.; Da Silva, W. C.; Da Silva, A. F.;
610 Almeida, F. T.; De Souza, A. P. 2022. Classes de solos nas bacias hidrográficas dos rios Caiabi e
611 Renato, afluentes do rio Teles Pires, no sul da Amazônia. *Nativa*, 10(3): 431-448. DOI:
612 <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i3.14192>

613

614 Brasil. 2023. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, Inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal.
615 Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 08 nov. 2023.

616

617 Bristow, K.L.; Campbell, G.S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily
618 maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31: 159- 166. DOI:
619 [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(84\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0168-1923(84)90017-0)

620

621 Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y.; Savenije, H. H. G.; Gautam, R. 2006. The water footprint of
622 cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on
623 the water resources in the cotton producing countries, *Ecological Economics*, 60(1): 186–203. DOI:
624 <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027>

625

626 Chapagain, A; Tickner, D. 2012. Pegada Hídrica: evolução do conceito e sua utilidade a prática. In:
627 Empinoti, V; Jacobi, P.R.(Org.). Pegada Hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua
628 aplicação. São Paulo: Annablume.

629

630 CONAB: Companhia Nacional De Abastecimento. 2023. Acompanhamento da safra brasileira: séries
631 históricas das safras de grãos. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em:
632 <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras#gr%C3%A3os-2>. Acesso em:
633 10 nov. 2023

634

- 635 CONAMA: Conselho Nacional Do Meio Ambiente. 2005. Resolução Conama nº 357, de 17 de março
636 de 2005. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo_](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo_download&id=450)
637 [download&id=450](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo_download&id=450). Acesso em: 10 nov. 2023.
- 638 Costa, C. T. S., Teodoro, I., Cunha, F. N., Morais, W. A., Vidal, V. M., & Gomes, L. F. 2017.
639 Desempenho e produtividade do feijão-comum, submetido a três sistemas de irrigação. IV
640 INOVAGRI International Meeting/XXVI CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e
641 Drenagem/III SBS – Simpósio Brasileiro de Salinidade. 02 a 06 de outubro 2017 - Fortaleza/CE.
642 Disponível em:
643 https://web.archive.org/web/20180721081000id_/http://www.inovagri.org/anais/TC0560187.pdf.
644 Acesso em: 15 ago. 2023.
- 645
- 646 Costa, M. R.; Moreira, M. C.; Silva, D. D. da; Alencar, K. M. de; Coelho, C. D. 2021. Water Footprint
647 of soybean, cotton, and corn crops in the western region of Bahia State. Eng Sanit Ambient. 26(5):
648 971-978. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020041>
- 649
- 650 Dos Santos, R. M. et al. 2022. Coeficiente de produtividade - Ky do feijão carioca (*Phaseolus Vulgaris*
651 L. TAA Dama) para o município de Botucatu-SP. Irriga, 27(4): 785-794.
652 DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n4p785-794>
- 653
- 654 EMBRAPA: Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. 2022. Cultura do Feijão. Disponível em:
655 [https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilhatecnologica/tecnologias/culturas/-](https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilhatecnologica/tecnologias/culturas/-feijao)
656 [feijao](https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilhatecnologica/tecnologias/culturas/-feijao). Acesso em: 30 ago. 2022.
- 657
- 658 FAO - Food and Agriculture Organization. 2023. CROPWAT. The Food and Agriculture
659 Organization. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>.
660 Acesso em: 14 ago. 2023.
- 661
- 662 Fischer Filho, J. A.; Zocoler, J. L. 2016. Estimativa do coeficiente de cultura (Kc) do feijoeiro em
663 Ilha Solteira, SP. Revista Engenharia na Agricultura-REVENG, 24(3): 229-235.
664 DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i3.665>
- 665
- 666 Hoekstra, A. Y.; Hung, P. Q. 2002. Quantificação dos fluxos de água virtuais. Holanda: IHE Delfit,
667 120. P.
- 668
- 669 Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K. 2007. The Water footprints of Morocco and the Netherlands:
670 Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. Ecological
671 Economics, 64(1), 143–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.023>.
- 672
- 673 Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. 2011. The water footprint
674 assessment manual: Setting the global standard. Routledge. ISBN 1136538518, 9781136538513.
675 Disponível: https://waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_English.pdf
676 Acesso em: 30 set. 2023.
- 677
- 678 Macedo, G. De; Silva, L. F. S.; Moreira, J. A. A. 2002. Manejo da adubação nitrogenada no feijoeiro
679 irrigado sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Tropical, 32(1): 1-5. Disponível em:
680 <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/2433>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- 681
- 682 Mantovani, E. C. et al. 2012. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-
683 GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. Engenharia
684 Agrícola, 32: 110-120. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000100012>.
- 685

- 686 Martim, C. C.; Souza, A. P. 2021. Estimativas da radiação global com base na insolação na Amazônia
687 brasileira. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, 12(10): 233-246. DOI: [http://doi.org/
688 10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0020](http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0020).
689
- 690 Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived
691 crop products. Hydrology and Earth System Sciences, Holanda. 15: 1577-1600. DOI: [https://
692 doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011](https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011).
693
- 694 Mendonça, J. C. et al. 2007. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus*
695 *vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,
696 11: 471-475. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000500004>.
697
- 698 Morais, J. de et al. 2015. Avaliação do método de Penman Monteith FAO 56 com dados faltosos e de
699 métodos alternativos na estimativa da evapotranspiração de referência no submédio Vale do São
700 Francisco. Revista Brasileira de Geografia Física, 8 (6): 1644-1660. DOI: [https://doi.org/
701 10.5935/1984-2295.20150093](https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150093).
702
- 703 Rondon, D. da S. R. 2023. Pegada hídrica da produção de grãos em polos de irrigação do Cerrado e
704 da transição Cerrado - Amazônia de Mato Grosso, Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-
705 Graduação em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 78 f.
706
- 707 Sales, R. A. de et al. 2017. Índice de satisfação das demandas de água e produtividade do feijão em
708 diferentes lâminas de irrigação em Colatina-ES. Energia na Agricultura, 32(1): 81-87. DOI:
709 <10.17224/EnergAgric.2017v32n1p81-87>
710
- 711 Santos, G. R.; Oliveira, E. Dos S.; Madi, R. R. 2023. Pegada Hídrica da produção agrícola do arroz e
712 do feijão em Sergipe. XV Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe, XV – ABRHidro. Encontro de
713 Recursos Hídricos em Sergipe - 20 a 24 de março de 2023, Aracaju/SE. Disponível em:
714 <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/206/XV-ENREHSE0033-1-20230228-233243.pdf>.
715 Acesso em: 15 ago. 2023.
716
- 717 Souza, A. P. De; Silva, A. C. Da; Tanaka, A. A.; Uliana, E. M.; Almeida, F. T. De; Klar, A. E.;
718 Gomes, A. W. A. 2017. Global radiation by simplified models for the state of Mato Grosso Brazil.
719 Pesquisa Agropecuária Brasileira, 52(4): 215-227. DOI: <10.31413/nativa.v9i5.13168>
720
- 721 Souza, T. L. P. O., Pereira, H. S., De Faria, L. C., Wendland, A., Da Costa, J. G. C., Abreu, A., Dias,
722 J. L. C., Magaldi, M. C. S., Souza, N. P., Del Peloso, M. G. & Melo, L. C. 2013. Cultivares de feijão
723 comum da Embrapa e parceiros disponíveis para 2013. Comunicado técnico 221, Santo Antônio de
724 Goiás, GO. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105967/1/166-
725 1.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105967/1/166-1.pdf) . Acesso em 10 jul. 2023.
726

CONCLUSÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO

O estudo da pegada hídrica é bastante pertinente quando se preconiza um adequado planejamento e gestão dos recursos hídricos, e se torna mais premente ainda, em regiões com crescente aumento da demanda, por meio do uso da irrigação, devido a possíveis conflitos pelos seus diferentes usos.

Nesta percepção, objetivou-se o estudo da pegada hídrica do feijão carioca, na região de transição do Cerrado Amazônica, e mais especificamente na região do Médio Norte do estado de Mato Grosso, nas safras de 2021 a 2023, em que se obteve a Pegada Hídrica média de $1.157,96 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, com 70,43% correspondentes à Pegada Hídrica azul e 29,57% à Pegada Hídrica cinza. Este cenário demonstra que a cultura recebeu apenas água por irrigação (pegada hídrica azul), e que isto demonstra não apenas a quantidade de água consumida pela cultura, mas também a utilização de água captada (não precipitada), sendo sua demanda e distribuição uma variável de impacto sobre a disponibilidade dos recursos hídricos.

Ao revisar sobre estudos da pegada hídrica em culturas anuais, e particularmente o feijão, constatou-se que os resultados encontrados neste trabalho apontam para uma produção com eficiência no uso da água para a cultura do feijão durante os anos mencionados. Esta constatação é devido aos menores valores de Pegada Hídrica registrada para esta cultura em todo o Brasil, sendo um marco significativo, mas carecendo de maiores estudos que demonstrem esta otimização do uso da água, seja por adequados sistemas de irrigação e seu manejo, ou por práticas agrícolas e ambientais sustentáveis.

Numa análise mais detalhada da demanda evapotranspirométrica e da necessidade hídrica específica da cultura do feijão na região estudada, verifica-se um potencial considerável para o uso eficiente da água. Essa constatação comparativa, especialmente quando relacionada com outras regiões onde a mesma cultura é cultivada, evidencia não apenas a singularidade das condições locais, mas também destaca a importância de considerar tais variáveis no planejamento e na tomada de decisões relacionadas à gestão dos recursos hídricos na produção agrícola.

A comparação dos diferentes valores das componentes da Pegada Hídrica deste estudo com outros, ressalta a diversidade e complexidade desses indicadores. Isso reforça a

necessidade de realizar avaliações mais detalhadas do sistema de produção agrícola, especialmente no que se refere a otimização do uso da água. Tais análises devem levar em conta não apenas as condições meteorológicas e edáficas locais, mas também as práticas agrícolas específicas adotadas, como a utilização da adubação nitrogenada, que interfere na pegada hídrica cinza. Somente assim poderemos embasar decisões mais comparáveis e sustentáveis na produção de alimentos, utilizando índices de Pegada Hídrica como ferramentas orientadoras.

Embora seja importante ressaltar que a Pegada Hídrica não avalia diretamente a eficiência do uso da água em sistemas de irrigação, seu papel como indicador para a gestão de recursos hídricos é inegável. E, estes resultados contribuem significativamente não apenas para o avanço do conhecimento científico, mas também para a tomada de decisões relacionadas à gestão sustentável da água e à adoção de práticas agrícolas mais eficientes.

ANEXO I: NORMAS PARA SUBMISSÃO À REVISTA GAIA SCIENTIA.

(disponível em <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/about/submissions>)

Submissões

O cadastro no sistema e posterior acesso, por meio de login e senha, são obrigatórios para a submissão de trabalhos, bem como para acompanhar o processo editorial em curso. [Acesso](#) em uma conta existente ou [Registrar](#) uma nova conta.

Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

- Os manuscritos devem ser apresentados na seguinte sequência: página de rosto, resumos em português, espanhol e inglês, palavras chaves, palavras clave e keywords, texto, referências bibliográficas.
- A Página de rosto contém a identificação dos autores e a indicações de três possíveis revisores.
- Todos os autores e suas filiações estão cadastrados no sistema e possuem ORCID.
- A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, justificar em "Comentários ao Editor".
- Foram informadas as autorizações e licenças para realização da pesquisa? O trabalho deve incluir a autorização do comitê de ética (no caso de pesquisas com pessoas) e outras licenças necessárias a sua realização.
- O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em [Diretrizes para Autores](#), na seção Sobre a Revista.
- A identificação de autoria deste trabalho foi removida do arquivo e da opção Propriedades no Word, garantindo desta forma o critério de sigilo da revista, caso submetido para avaliação por pares (ex.: artigos), conforme instruções disponíveis em [Assegurando a Avaliação por Pares Cega](#).
- A carta de anuência foi assinada por todos os autores e anexada no sistema.

Diretrizes para Autores

A submissão deve ser feita única e exclusivamente pela plataforma da revista (<https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/submission/wizard>). Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

1) Dois arquivos estão sendo submetidos: o arquivo do artigo e a carta de apresentação e anuência assinada por todos os autores. Todos os autores e suas filiações acadêmicas completas estão cadastrados no sistema e possuem ORCID. Não será aceita a inclusão de novos autores após o processo de revisão ter sido iniciado.

2) Os manuscritos devem ser apresentados na seguinte sequência: página de rosto, declarações, resumos em português, espanhol e inglês, palavras chaves, palavras clave e keywords, texto, referências bibliográficas. Tudo em um único arquivo no formato Word.

3) A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, justificar em "Comentários ao Editor".

4) Todos os endereços de páginas na Internet (URLs), incluídas no texto (Ex.: <http://www.ibict.br>) estão ativos e prontos para clicar. Os manuscritos submetidos devem citar e referenciar todos os dados, códigos de programas e outros materiais que foram utilizados ou gerados na pesquisa.

5) O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em Diretrizes para Autores, na seção Sobre a Revista.

6) A identificação de autoria deste trabalho foi removida do arquivo e da opção Propriedades no Word, garantindo desta forma o critério de sigilo da revista, caso submetido para avaliação por pares (ex.: artigos), caso os autores optem pela Avaliação por Pares Cega.

A Revista **Gaia Scientia** publica manuscritos inéditos. A autoria dos manuscritos deve ser limitada aqueles que contribuíram substancialmente à elaboração do trabalho. Todos os autores devem estar em concordância com a inclusão de seus nomes no trabalho e a submissão é de inteira responsabilidade dos autores.

Considerando os processos avaliativos pelos quais a revista está submetida e os critérios das plataformas de indexação, a **Gaia Scientia** limita a publicação de artigos de autores vinculados ao corpo editorial, à UFPB e à Rede Prodema (UFPB, UFPI, UFRN, UFS, UFPI, UFC, UESC) a 20% dos artigos publicados anualmente.

Considerando o perfil da revista e a importância que damos às informações alcançarem um amplo público, a **Gaia Scientia** publica artigos, preferencialmente, em inglês, mas aceita manuscritos nos idiomas inglês, português e espanhol.

O processo de submissão deve contar com uma carta de apresentação (cover letter), ressaltando os pontos relevantes do artigo, sua aderência ao escopo da revista e qualquer outra informação que os autores considerarem importantes. A carta de apresentação deve informar que o artigo é uma obra inédita, que não está sendo considerado para publicação em nenhum outro canal, que não tem plágio ou má conduta ética de pesquisa e deve ser assinada por todos os autores (anuência de todos os autores para a submissão).

Tipos de trabalho publicados

Revisões

Revisões são publicadas somente com consulta prévia ao Editor-Chefe do periódico.

Artigos

Solicitamos que os autores leiam com atenção as normas. Esse é um passo importante e o não cumprimento pode influenciar o processo de avaliação.

Os artigos devem ser organizados em um ÚNICO arquivo Word, subdivididos nas seguintes partes:

- Folha de rosto;
- Declarações;
- Resumo, Abstract e Resumen (iniciado com o título do trabalho e com até 200 palavras), com suas respectivas palavras-chave, keywords e palabras clave. O resumo e o título são OBRIGATÓRIOS nos 3 idiomas;
- Introdução;
- Material e Métodos;
- Resultados e Discussão (o autor pode optar por separar ou unir estes itens);
- Conclusão;
- Referências.

As sessões não devem ser numeradas. Apenas as primeiras letras das sessões devem ser escritas em caixa alta. Caso sejam necessárias subdivisões nas sessões, elas não devem ser numeradas. Todos os trabalhos devem estar de acordo com os comportamentos éticos adotados pela **Gaia Scientia** (ver seção Questões Éticas). Os autores devem enviar seus artigos somente em versão eletrônica e pela plataforma da revista. Toda comunicação deve ser feita via plataforma da revista.

FORMATAÇÃO DOS ARTIGOS

Folha de rosto

Deve conter o título do trabalho, os nomes dos autores, suas filiações acadêmicas e o(s) cadastro(s) ORCID. Deve ser informado o autor para correspondência e todos os autores do trabalho devem estar cadastrados no sistema da revista na hora da submissão, assim como suas filiações completas. Não será permitida a inclusão de autores após o processo de avaliação ter iniciado. Deve ser informado um título curto. Devem ser indicados, pelo menos, três possíveis revisores, que devem ser doutores, especialistas na área e sem conflito de interesses com os autores ou com o trabalho. Informar os nomes, filiação e email dos possíveis revisores. Agradecimentos devem vir nessa folha. Agradecimentos pessoais devem preceder os agradecimentos às instituições ou agências. Agradecimentos a auxílios ou bolsas (com os números de processos), assim como agradecimentos à colaboração de colegas, bem como menção à origem de um artigo (e.g. teses) devem ser indicados nesta seção.

Declarações

Os autores devem informar, obrigatoriamente, os seis itens listados abaixo:

- participação dos autores: deve ser informada a participação de cada autor no desenvolvimento do artigo.
- aprovação ética: todos os manuscritos devem incluir uma declaração sobre aprovação e consentimento éticos (mesmo quando a necessidade de aprovação foi dispensada), incluindo o nome do comitê de ética que aprovou o estudo e o número de referência do comitê, se apropriado. Estudos envolvendo animais devem incluir uma declaração de aprovação de ética.
- Tipo de revisão: os autores concordam com a divulgação dos seus nomes para os revisores?
- disponibilidade dos dados: Informar se os dados estarão disponíveis em alguma base ou repositores.
- Fomento: informar todas as fontes de fomento.

- **Conflito de Interesses:** No caso de haver conflito de interesses, este deve ser informado.

Corpo do texto

Os artigos podem ser redigidos em português, inglês ou espanhol, mas a revista recomenda a publicação em inglês. Os textos devem ser preparados em espaço 1,5, fonte Times News Roman, tamanho 12, com folha A4 (210 x 297 mm), obedecendo todas as margens com 2,0 cm. As páginas devem estar numeradas a partir da primeira página. As linhas devem estar numeradas sequencialmente. Notas de rodapé devem ser evitadas; quando necessário, devem ser numeradas sequencialmente. No momento da submissão, não deve haver nenhuma identificação dos autores no corpo do artigo e nem na opção Propriedades no Word (caso os autores optem pela avaliação cega). Todos os endereços de páginas na Internet (URLs), incluídas no texto (Ex.: <http://www.ibict.br>) deverão estar ativos e prontos para clicar.

Tamanho dos artigos

Os artigos devem ter no máximo 25 laudas. Artigos sucintos e cuidadosamente preparados têm preferência tanto em termos de impacto, quando na sua facilidade de leitura.

Tabelas e ilustrações

Tabelas e figuras serão consideradas quando realmente se mostrem necessárias à compreensão do Texto. Os autores não devem repetir informações de tabelas e gráficos ao longo do texto. Somente ilustrações de alta qualidade serão aceitas. Todas as ilustrações serão consideradas como figuras, inclusive desenhos, gráficos, mapas e fotografias. As figuras e tabelas devem vir ao longo do texto e com legendas. Todas as Figuras e Tabelas devem ser chamadas ao longo do texto. Tabelas e quadros são diferenciados pela presença de linhas verticais e horizontais. Tabelas apresentam linhas apenas nas partes superior e inferior. Nem Tabelas, nem quadros devem ter células coloridas. Quando houver gráficos ou figuras com informações correlatas ou complementares, elas devem formar uma única prancha. As figuras organizadas em prancha devem ser editadas de forma a ser uma única figura, identificadas por letras maiúsculas do lado esquerdo superior de cada imagem.

As figuras devem ser formatadas de acordo com as seguintes especificações:

1. Desenhos e ilustrações devem ser em formato .JPG ou .PS/.EPS ou .CDR (Postscript ou Corel Draw);
2. Imagens ou figuras em meio tom devem ser no formato .JPG ou .TIF ou .PNG;
3. As figuras devem ter formatações que permitam que cada dimensão linear das menores letras e símbolos não deve ser menor que 2 mm depois da redução.
4. Figuras que não sejam de autoria do próprio autor ou, quando do autor, que já tiverem sido previamente publicadas só serão aceitas com a carta de anuência do autor original ou da revista onde a figura foi publicada.
5. Durante o processo de edição de artigos aceitos, os autores podem ser solicitados para o envio de figuras de melhor qualidade, caso seja necessário. Artigos que contenham símbolos de Matemática, Física ou Química podem ser digitados em Tex, AMS-Tex ou Latex; Artigos sem fórmulas matemáticas devem ser enviados em Word para Windows.

Abreviaturas

As abreviaturas devem ser definidas em sua primeira ocorrência no texto, exceto no caso de abreviaturas padrão e oficial. Unidades e seus símbolos devem estar de acordo com os aprovados pela ABNT ou pelo Bureau International des Poids et Mesures (SI).

Referências

Os autores devem priorizar a citação de artigos relevantes e com aderência ao tema do manuscrito, priorizando a citação de artigos/ referências recentes. As referências devem conter em torno de 80% das citações atualizadas (últimos 10 anos). Os autores devem ter atenção na formatação tanto das citações ao longo do texto quanto das referências. Os autores são responsáveis pela exatidão das referências.

Artigos publicados e aceitos para publicação (no prelo) podem ser incluídos. Evitar a citação de teses e dissertações e outras referências cinzas. Referências de *apud*, abstracts de reuniões, simpósios (não publicados em revistas), artigos em preparo ou submetidos, mas ainda não aceitos em definitivo NÃO podem ser citados no texto e não devem ser incluídos na lista de referências. Incluir o DOI ao final da referência sempre que possível.

As referências devem ser citadas no texto como, por exemplo, (Smith 2004), (Smith and Wesson 2005), no caso de texto em inglês ou (Smith e Wesson 2005), no caso de texto em português ou, para três ou mais autores, (Smith et al. 2006). Dois ou mais artigos do mesmo autor no mesmo ano devem ser distinguidos por letras, e.g. (Smith 2004a), (Smith 2004b) etc. Artigos com três ou mais autores com o mesmo primeiro autor e ano de publicação também devem ser distinguidos por letras. No caso de citar vários autores em um mesmo ponto do texto, as referências devem ser organizadas em ordem cronológica e separadas por ponto e vírgula (Silva 1999; Colen 2003; Menezes 2010; Anuda 2015). As referências devem ser listadas em ordem alfabética do primeiro autor sempre na ordem do sobrenome XY no qual X e Y são as iniciais.

Artigos

García-Moreno J, Clay R, Ríos-Munoz CA. 2007. The importance of birds for conservation in the neotropical region. *Journal of Ornithology* 148(2):321-326.
 Pinto ID, Sanguinetti YT. 1984. Mesozoic Ostracode Genus *Theriosynoecum* Branson, 1936 and validity of related Genera. *Anais Academia Brasileira Ciências* 56:207-215.
 Posey DA. 1983. O conhecimento entomológico Kayapó: etnometodologia e sistema cultural *Anuário Antropológico* 81:109-121.

Livros e capítulos de livros

Davies M. 1947. *An outline of the development of Science*, Athinker's Library, n. 120. London: Watts, 214 p.
 Prehn RT. 1964. Role of immunity in biology of cancer. In: National Cancer Conference, 5, Philadelphia Proceedings ..., Philadelphia: J.B. Lippincott, p. 97-104.
 Uytendogaardt W and Burke EAJ. 1971. *Tables for microscopic identification of minerals*, 2nd ed., Amsterdam: Elsevier, 430 p.
 Woody RW. 1974. *Studies of theoretical circular dichroism of Polipeptides: contributions of*

B-turns. In: Blouts ER et al. (Eds), Peptides, polypeptides and proteins, New York: J Wiley & Sons, New York, USA, p. 338-350.

Outras publicações

International Kimberlite Conference, 5, 1991. Araxá, Brazil. Proceedings ... Rio de Janeiro: CPRM, 1994, 495 p.

Dynamics of Classical Fields. 1998. University of Calgary, Department of Mathematics and Statistics, 55 p. Preprint n. 600.

Política de Privacidade

Os manuscritos publicados são de propriedade da Revista **GAIA SCIENTIA**, vedada tanto a reprodução, mesmo que parcial em outros periódicos, como a tradução para outro idioma sem a autorização por escrito do Conselho Editorial.

Política de Acesso Livre

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento.

Propriedade intelectual

Todo o conteúdo do periódico está licenciado sob uma Licença Creative Commons do tipo atribuição BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Ou seja, o conteúdo pode ser copiado, adaptado, modificado, desde que sejam indicadas a origem, a autoria, as alterações feitas e desde que seja para uso não comercial. Todo conteúdo da revista tem publicação online, de acesso aberto e gratuito.

ANEXO II: DADOS COLETADOS NOS ANOS DE 2021, 2022 e 2023:

Anexo II. A: Dados Coletados no Ano de 2021.

DAILY MEASURED ETO DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Celio_ETo_estimada_2021_1.PMD)

Station: ETo_estimada_2021_1

Year: 2021

Day		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ave
1	mm/d					2.9	2.1	2.0	2.9					
2	mm/d					2.9	3.0	2.3	3.1					
3	mm/d					2.9	3.0	2.4	3.0					
4	mm/d					2.9	3.5	2.6	3.1					
5	mm/d					2.9	2.7	2.4	2.9					
6	mm/d					2.9	2.8	2.5	3.0					
7	mm/d					2.9	2.7	2.6	3.3					
8	mm/d					2.9	2.6	2.7	3.5					
9	mm/d					2.9	2.5	2.5	3.5					
10	mm/d					2.9	2.1	2.5	3.4					
11	mm/d					2.9	2.5	2.6	3.2					
12	mm/d					2.9	2.4	2.7	2.9					
13	mm/d					2.9	2.4	2.9	3.0					
14	mm/d					2.9	2.4	2.8	3.3					
15	mm/d					2.9	2.5	2.6	2.8					
16	mm/d					2.9	2.7	2.6	3.6					
17	mm/d					2.9	2.6	2.3	4.5					
18	mm/d					2.9	2.4	3.2	4.4					
19	mm/d					2.9	2.3	3.1	4.5					
20	mm/d					2.9	2.6	2.5	4.0					
21	mm/d					2.9	2.6	2.7	3.7					
22	mm/d					2.9	2.6	2.9	3.9					
23	mm/d					2.9	2.7	3.0	3.7					
24	mm/d					2.9	2.3	3.2	3.9					
25	mm/d					2.9	2.5	3.3	4.1					
26	mm/d					2.9	2.7	3.3	3.7					
27	mm/d					2.9	2.7	3.2	3.8					
28	mm/d					2.9	2.6	2.2	4.2					
29	mm/d					2.8	2.3	2.4	3.8					
30	mm/d					2.9	2.0	2.5	4.8					
31	mm/d					2.9		2.8	3.6					
Tot Eff.	mm/d					2.9	2.6	2.7	3.6					2.9

DAILY RAIN DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\Celio_Rain_2021_1.CRD)

Station: Celio_Rain_2021

Eff. rain method: USDA Soil Conservation Service formula:

$$\begin{aligned} \text{Peff} &= \text{Pdec} * (125 - 0.6 * \text{Pdec}) / 125 && \text{for Pdec} \leq 250/3 \text{ mm} \\ \text{Peff} &= 125 / 3 + 0.1 * \text{Pdec} && \text{for Pdec} > 250/3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Day		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Tot
1	mm	200.0	36.0	235.0	95.3	0.0	0.0	0.0	0.0	200.0	200.0	200.0	200.0	
2	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
7	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
8	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
13	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
14	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
16	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
17	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
19	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
21	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
23	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
24	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
25	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
26	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
28	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
29	mm	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
30	mm	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
31	mm	0.0		0.0		0.0		0.0	0.0		0.0		0.0	
Tot Rain	mm	200.0	36.0	235.0	95.3	0.0	0.0	0.0	0.0	200.0	200.0	200.0	200.0	1366.3
Tot Eff.	mm	61.7	29.8	65.2	51.2	0.0	0.0	0.0	0.0	61.7	61.7	61.7	61.7	454.5

DRY CROP DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\Celio_feijao_2021.CRO)

Crop Name: CelioCrop_2021 Planting date: 29/05 Harvest: 29/08

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	14	25	35	19	93
Kc Values	0.40	-->	1.15	0.35	
Rooting depth (m)	0.35	-->	0.70	0.70	
Critical depletion	0.45	-->	0.45	0.60	
Yield response f.	0.20	1.10	0.75	0.40	1.15
Cropheight (m)			0.40		

SOIL DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\celio SOIL.SOI)

Soil name: CelioSOIL

General soil data:

Total available soil moisture (FC - WP)	200.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	30	mm/day
Maximum rooting depth	900	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TA)	50	%
Initial available soil moisture	100.0	mm/meter

CROP WATER REQUIREMENTS

ETo station: ETo_estimada_2021_1

Crop: CelioCrop_2021

Rain station: Celio_Rain_2021

Planting date: 29/05

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	3	Init	0.40	1.15	3.4	0.0	3.4
Jun	1	Init	0.40	1.08	10.8	0.0	10.8
Jun	2	Deve	0.54	1.35	13.5	0.0	13.5
Jun	3	Deve	0.87	2.17	21.7	0.0	21.7
Jul	1	Mid	1.16	2.86	28.6	0.0	28.6
Jul	2	Mid	1.20	3.30	33.0	0.0	33.0
Jul	3	Mid	1.20	3.43	37.7	0.0	37.7
Aug	1	Mid	1.20	3.83	38.3	0.0	38.3
Aug	2	Late	0.96	3.39	33.9	0.0	33.9
Aug	3	Late	0.53	2.04	18.4	0.0	18.4
					239.3	0.0	239.3

CROP IRRIGATION SCHEDULE

ETo station: ETo_estimada_202 Crop: CelioCrop_2021
 Rain station: Celio_Rain_2021 Soil: CelioSOIL

Planting date: 29/05
 Harvest date: 29/08

Yield red.: 0.0 %

Crop scheduling options

Timing: Irrigate at 100 % depletion
 Application: Refill to 100 % of field capacity
 Field eff. 70 %

Table format: Daily soil moisture balance

Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta mm/day	Depl %	Net Irr mm	IrrDeficit mm	Loss mm	Gr. Irr mm	Flow l/s/ha
29 May	1	Init	0.0	0.91	1.0	51	36.9	0.0	0.0	52.8	6.11
30 May	2	Init	0.0	1.00	1.2	3	0.0	2.1	0.0	0.0	0.00
31 May	3	Init	0.0	1.00	1.2	6	0.0	4.2	0.0	0.0	0.00
1 Jun	4	Init	0.0	1.00	0.8	8	0.0	5.9	0.0	0.0	0.00
2 Jun	5	Init	0.0	1.00	1.2	10	0.0	8.0	0.0	0.0	0.00
3 Jun	6	Init	0.0	1.00	1.2	13	0.0	10.2	0.0	0.0	0.00
4 Jun	7	Init	0.0	1.00	1.4	15	0.0	12.5	0.0	0.0	0.00
5 Jun	8	Init	0.0	1.00	1.1	17	0.0	14.5	0.0	0.0	0.00
6 Jun	9	Init	0.0	1.00	1.1	19	0.0	16.5	0.0	0.0	0.00
7 Jun	10	Init	0.0	1.00	1.1	21	0.0	18.6	0.0	0.0	0.00
8 Jun	11	Init	0.0	1.00	1.0	23	0.0	20.5	0.0	0.0	0.00
9 Jun	12	Init	0.0	1.00	1.0	25	0.0	22.4	0.0	0.0	0.00
10 Jun	13	Init	0.0	1.00	0.8	26	0.0	24.2	0.0	0.0	0.00
11 Jun	14	Init	0.0	1.00	1.0	27	0.0	26.1	0.0	0.0	0.00
12 Jun	15	Dev	0.0	1.00	1.1	29	0.0	28.1	0.0	0.0	0.00
13 Jun	16	Dev	0.0	1.00	1.1	31	0.0	30.1	0.0	0.0	0.00
14 Jun	17	Dev	0.0	1.00	1.2	32	0.0	32.2	0.0	0.0	0.00
15 Jun	18	Dev	0.0	1.00	1.3	34	0.0	34.5	0.0	0.0	0.00
16 Jun	19	Dev	0.0	1.00	1.5	35	0.0	36.9	0.0	0.0	0.00
17 Jun	20	Dev	0.0	1.00	1.6	37	0.0	39.4	0.0	0.0	0.00
18 Jun	21	Dev	0.0	1.00	1.5	39	0.0	41.8	0.0	0.0	0.00
19 Jun	22	Dev	0.0	1.00	1.5	40	0.0	44.2	0.0	0.0	0.00
20 Jun	23	Dev	0.0	1.00	1.8	42	0.0	46.9	0.0	0.0	0.00
21 Jun	24	Dev	0.0	1.00	1.9	44	0.0	49.7	0.0	0.0	0.00
22 Jun	25	Dev	0.0	1.00	2.0	46	52.6	0.0	0.0	75.2	8.70
23 Jun	26	Dev	0.0	1.00	2.2	3	0.0	3.1	0.0	0.0	0.00
24 Jun	27	Dev	0.0	1.00	1.9	5	0.0	5.9	0.0	0.0	0.00
25 Jun	28	Dev	0.0	1.00	2.2	7	0.0	8.9	0.0	0.0	0.00
26 Jun	29	Dev	0.0	1.00	2.4	10	0.0	12.3	0.0	0.0	0.00
27 Jun	30	Dev	0.0	1.00	2.4	13	0.0	15.6	0.0	0.0	0.00
28 Jun	31	Dev	0.0	1.00	2.5	15	0.0	19.1	0.0	0.0	0.00
29 Jun	32	Dev	0.0	1.00	2.3	17	0.0	22.2	0.0	0.0	0.00
30 Jun	33	Dev	0.0	1.00	2.0	19	0.0	25.1	0.0	0.0	0.00
1 Jul	34	Dev	0.0	1.00	2.1	21	0.0	28.2	0.0	0.0	0.00
2 Jul	35	Dev	0.0	1.00	2.5	24	0.0	31.6	0.0	0.0	0.00
3 Jul	36	Dev	0.0	1.00	2.7	26	0.0	35.2	0.0	0.0	0.00
4 Jul	37	Dev	0.0	1.00	3.0	29	0.0	39.1	0.0	0.0	0.00
5 Jul	38	Dev	0.0	1.00	2.9	31	0.0	42.9	0.0	0.0	0.00
6 Jul	39	Dev	0.0	1.00	3.0	33	0.0	45.8	0.0	0.0	0.00
7 Jul	40	Mid	0.0	1.00	3.2	35	0.0	49.0	0.0	0.0	0.00
8 Jul	41	Mid	0.0	1.00	3.3	37	0.0	52.3	0.0	0.0	0.00
9 Jul	42	Mid	0.0	1.00	3.0	39	0.0	55.3	0.0	0.0	0.00
10 Jul	43	Mid	0.0	1.00	3.1	42	0.0	58.3	0.0	0.0	0.00
11 Jul	44	Mid	0.0	1.00	3.1	44	0.0	61.5	0.0	0.0	0.00
12 Jul	45	Mid	0.0	1.00	3.3	46	64.8	0.0	0.0	92.6	10.71
13 Jul	46	Mid	0.0	1.00	3.5	3	0.0	3.5	0.0	0.0	0.00
14 Jul	47	Mid	0.0	1.00	3.3	5	0.0	6.9	0.0	0.0	0.00

15 Jul	48	Mid	0.0	1.00	3.2	7	0.0	10.0	0.0	0.0	0.00
16 Jul	49	Mid	0.0	1.00	3.2	9	0.0	13.2	0.0	0.0	0.00
17 Jul	50	Mid	0.0	1.00	2.8	11	0.0	16.0	0.0	0.0	0.00
18 Jul	51	Mid	0.0	1.00	3.8	14	0.0	19.8	0.0	0.0	0.00
19 Jul	52	Mid	0.0	1.00	3.7	17	0.0	23.6	0.0	0.0	0.00
20 Jul	53	Mid	0.0	1.00	3.0	19	0.0	26.6	0.0	0.0	0.00
21 Jul	54	Mid	0.0	1.00	3.2	21	0.0	29.8	0.0	0.0	0.00
22 Jul	55	Mid	0.0	1.00	3.5	24	0.0	33.3	0.0	0.0	0.00
23 Jul	56	Mid	0.0	1.00	3.6	26	0.0	36.8	0.0	0.0	0.00
24 Jul	57	Mid	0.0	1.00	3.9	29	0.0	40.7	0.0	0.0	0.00
25 Jul	58	Mid	0.0	1.00	3.9	32	0.0	44.6	0.0	0.0	0.00
26 Jul	59	Mid	0.0	1.00	4.0	35	0.0	48.6	0.0	0.0	0.00
27 Jul	60	Mid	0.0	1.00	3.9	37	0.0	52.5	0.0	0.0	0.00
28 Jul	61	Mid	0.0	1.00	2.7	39	0.0	55.1	0.0	0.0	0.00
29 Jul	62	Mid	0.0	1.00	2.8	41	0.0	58.0	0.0	0.0	0.00
30 Jul	63	Mid	0.0	1.00	3.0	44	0.0	61.0	0.0	0.0	0.00
31 Jul	64	Mid	0.0	1.00	3.3	46	64.3	0.0	0.0	91.8	10.63
1 Aug	65	Mid	0.0	1.00	3.5	3	0.0	3.5	0.0	0.0	0.00
2 Aug	66	Mid	0.0	1.00	3.7	5	0.0	7.2	0.0	0.0	0.00
3 Aug	67	Mid	0.0	1.00	3.6	8	0.0	10.8	0.0	0.0	0.00
4 Aug	68	Mid	0.0	1.00	3.8	10	0.0	14.6	0.0	0.0	0.00
5 Aug	69	Mid	0.0	1.00	3.5	13	0.0	18.0	0.0	0.0	0.00
6 Aug	70	Mid	0.0	1.00	3.7	16	0.0	21.7	0.0	0.0	0.00
7 Aug	71	Mid	0.0	1.00	4.0	18	0.0	25.7	0.0	0.0	0.00
8 Aug	72	Mid	0.0	1.00	4.2	21	0.0	30.0	0.0	0.0	0.00
9 Aug	73	Mid	0.0	1.00	4.2	24	0.0	34.2	0.0	0.0	0.00
10 Aug	74	Mid	0.0	1.00	4.1	27	0.0	38.3	0.0	0.0	0.00
11 Aug	75	End	0.0	1.00	3.7	30	0.0	42.0	0.0	0.0	0.00
12 Aug	76	End	0.0	1.00	3.2	32	0.0	45.2	0.0	0.0	0.00
13 Aug	77	End	0.0	1.00	3.2	35	0.0	48.4	0.0	0.0	0.00
14 Aug	78	End	0.0	1.00	3.4	37	0.0	51.7	0.0	0.0	0.00
15 Aug	79	End	0.0	1.00	2.8	39	0.0	54.5	0.0	0.0	0.00
16 Aug	80	End	0.0	1.00	3.3	41	0.0	57.9	0.0	0.0	0.00
17 Aug	81	End	0.0	1.00	4.0	44	0.0	61.9	0.0	0.0	0.00
18 Aug	82	End	0.0	1.00	3.7	47	0.0	65.6	0.0	0.0	0.00
19 Aug	83	End	0.0	1.00	3.6	49	0.0	69.2	0.0	0.0	0.00
20 Aug	84	End	0.0	1.00	3.0	52	0.0	72.2	0.0	0.0	0.00
21 Aug	85	End	0.0	1.00	2.6	53	0.0	74.8	0.0	0.0	0.00
22 Aug	86	End	0.0	1.00	2.6	55	77.4	0.0	0.0	110.6	12.80
23 Aug	87	End	0.0	1.00	2.3	2	0.0	2.3	0.0	0.0	0.00
24 Aug	88	End	0.0	1.00	2.3	3	0.0	4.5	0.0	0.0	0.00
25 Aug	89	End	0.0	1.00	2.2	5	0.0	6.7	0.0	0.0	0.00
26 Aug	90	End	0.0	1.00	1.8	6	0.0	8.5	0.0	0.0	0.00
27 Aug	91	End	0.0	1.00	1.6	7	0.0	10.2	0.0	0.0	0.00
28 Aug	92	End	0.0	1.00	1.7	8	0.0	11.8	0.0	0.0	0.00
29 Aug	End	End	0.0	1.00	0.0	8					

Totals:

Total gross irrigation	422.9	mm	Total rainfall	0.0	mm
Total net irrigation	296.0	mm	Effective rainfall	0.0	mm
Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	0.0	mm
Actual water use by crop	237.9	mm	Moist deficit at harvest	11.8	mm
Potential water use by crop	238.0	mm	Actual irrigation requirement	238.0	mm
Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	-	%
Deficiency irrigation schedule	0.0	%			

Yield reductions:

Stagelabel	A	B	C	D	Season
Reductions in ETC	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Yield response factor	0.20	1.10	0.75	0.40	1.15

Yield reduction	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
% Cumulative yield reduction		0.1	0.1	0.1	0.1
					%

Anexo II. B: Dados Coletados no Ano de 2022.

DAILY MEASURED ETO DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Celio_ETo_estimada_2022_1.PMD)

Station: Celio_ETo_2022

Year: 2022

Day		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ave
1	mm/d					2.9	2.5	2.5	3.1					
2	mm/d					2.9	2.4	2.8	3.1					
3	mm/d					2.9	2.4	2.9	3.1					
4	mm/d					2.9	2.8	2.9	3.2					
5	mm/d					2.9	3.0	2.4	3.2					
6	mm/d					2.9	2.9	2.8	3.1					
7	mm/d					2.9	2.4	2.8	3.3					
8	mm/d					2.9	2.3	2.8	3.2					
9	mm/d					2.9	2.1	2.8	1.8					
10	mm/d					2.9	1.0	2.9	2.4					
11	mm/d					2.9	0.2	2.9	2.5					
12	mm/d					2.9	1.6	3.0	2.9					
13	mm/d					2.9	2.1	2.8	3.2					
14	mm/d					2.9	2.3	2.9	3.3					
15	mm/d					2.9	2.7	2.9	3.5					
16	mm/d					2.9	2.9	3.1	3.0					
17	mm/d					2.9	2.8	2.6	3.6					
18	mm/d					2.9	2.3	2.8	3.5					
19	mm/d					2.9	2.6	2.7	2.0					
20	mm/d					2.9	2.8	2.8	2.6					
21	mm/d					2.9	2.9	2.8	3.0					
22	mm/d					2.9	2.6	3.0	3.4					
23	mm/d					2.9	2.8	3.1	3.3					
24	mm/d					2.5	3.1	3.1	3.0					
25	mm/d					3.3	2.9	3.1	3.0					
26	mm/d					3.4	2.8	3.0	3.0					
27	mm/d					2.8	2.6	3.0	3.0					
28	mm/d					2.7	2.7	3.0	3.0					
29	mm/d					2.9	2.4	3.0	3.0					
30	mm/d					2.8	2.2	2.9	3.0					
31	mm/d					2.8		2.9	3.0					
Tot Eff.	mm/d					2.9	2.4	2.9	3.0					2.8

MONTHLY RAIN DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\Celio_Rain_2022.CRM)

Station: Celio_Rain_2022

Eff. rain method: USDA Soil Conservation Service formula:

$$P_{eff} = P_{mon} * (125 - 0.2 * P_{mon}) / 125 \quad \text{for } P_{mon} \leq 250 \text{ mm}$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 * P_{mon} \quad \text{for } P_{mon} > 250 \text{ mm}$$

	Rain mm	Eff rain mm
January	200.0	136.0
February	200.0	136.0
March	200.0	136.0
April	200.0	136.0
May	0.0	0.0
June	0.0	0.0
July	0.0	0.0
August	0.0	0.0
September	200.0	136.0
October	200.0	136.0
November	200.0	136.0
December	200.0	136.0
Total	1600.0	1088.0

DRY CROP DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\feijao_2022.CRO)

Crop Name: feijao_2022

Planting date: 24/05

Harvest: 22/08

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	14	25	35	17	91
Kc Values	0.40	-->	1.15	0.35	
Rooting depth (m)	0.35	-->	0.70	0.70	
Critical depletion	0.45	-->	0.45	0.60	
Yield response f.	0.20	1.10	0.75	0.40	1.15
Cropheight (m)			0.40		

SOIL DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\celio SOIL.SOI)

Soil name: CelioSOIL

General soil data:

Total available soil moisture (FC - WP)	200.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	30	mm/day
Maximum rooting depth	900	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TA)	50	%
Initial available soil moisture	100.0	mm/meter

Cropwat 8.0 Bèta

Page 2 14/11/218:17:38

CROP WATER REQUIREMENTS

ETo station: Celio_ETo_2022
 Rain station: Celio_Rain_2022

Crop: feijao_2022
 Planting date: 24/05

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	3	Init	0.40	1.16	9.2	0.0	9.2
Jun	1	Deve	0.43	1.01	10.1	0.0	10.1
Jun	2	Deve	0.71	1.62	16.2	0.0	16.2
Jun	3	Deve	1.03	2.76	27.6	0.0	27.6
Jul	1	Mid	1.20	3.32	33.2	0.0	33.2
Jul	2	Mid	1.20	3.41	34.1	0.0	34.1
Jul	3	Mid	1.20	3.61	39.7	0.0	39.7
Aug	1	Late	1.13	3.37	33.7	0.0	33.7
Aug	2	Late	0.68	2.05	20.5	0.0	20.5
Aug	3	Late	0.38	1.20	2.4	0.0	2.4
					226.7	0.0	226.7

CROP IRRIGATION SCHEDULE

ETo station: Celio_ETo_2022 Crop: feijao_2022 Planting date: 24/05
 Rain station: Celio_Rain_2022 Soil: CelioSOIL Harvest date: 22/08

Yield red.: 0.0 %

Crop scheduling options

Timing: Irrigate at 100 % depletion
 Application: Refill to 100 % of field capacity
 Field eff. 70 %

Table format: Irrigation schedule

Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta %	Depl %	Net Irr mm	IrrDeficit mm	Loss mm	Gr. Irr mm	Flow l/s/ha
24 May	1	Init	0.0	0.91	91	51	36.8	0.0	0.0	52.6	6.09
18 Jun	26	Dev	0.0	1.00	100	46	53.1	0.0	0.0	75.8	0.35
7 Jul	45	Mid	0.0	1.00	100	47	66.1	0.0	0.0	94.4	0.57
26 Jul	64	Mid	0.0	1.00	100	47	66.3	0.0	0.0	94.7	0.58
22 Aug	End	End	0.0	1.00	100	52					

Totals:

Total gross irrigation	317.5 mm	Total rainfall	0.0 mm
Total net irrigation	222.3 mm	Effective rainfall	0.0 mm
Total irrigation losses	0.0 mm	Total rain loss	0.0 mm

Actual water use by crop	225.4 mm	Moist deficit at harvest	73.1 mm
Potential water use by crop	225.5 mm	Actual irrigation requirement	225.5 mm

Efficiency irrigation schedule	100.0 %	Efficiency rain	- %
Deficiency irrigation schedule	0.0 %		

Yield reductions:

Stagelabel	A	B	C	D	Season
Reductions in ETc	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Yield response factor	0.20	1.10	0.75	0.40	1.15
Yield reduction	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Cumulative yield reduction	0.1	0.1	0.1	0.1	

Cropwat 8.0 Bèta Page 4 14/11/23
18:17:38

Anexo II. C: Dados Coletados no Ano de 2023.

DAILY MEASURED ETO DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Celio_feijao_2023_1.PMD)

Station: ETo_estimada_2023_1

Year: 2023

Day		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ave
1	mm/d					2.4	2.5	2.6	3.4					
2	mm/d					2.4	2.4	2.5	3.4					
3	mm/d					2.4	2.8	2.6	3.4					
4	mm/d					2.4	2.8	2.7	3.2					
5	mm/d					2.4	2.8	2.7	3.6					
6	mm/d					2.4	2.6	3.0	3.3					
7	mm/d					2.4	2.7	2.9	3.5					
8	mm/d					2.4	2.7	2.8	3.8					
9	mm/d					2.4	2.7	3.0	3.5					
10	mm/d					2.4	2.9	3.1	3.7					
11	mm/d					2.4	2.5	3.0	3.1					
12	mm/d					2.4	2.7	3.0	3.5					
13	mm/d					2.4	2.1	3.0	3.6					
14	mm/d					2.4	2.0	2.2	4.1					
15	mm/d					2.4	2.1	2.6	3.8					
16	mm/d					2.4	2.3	2.8	3.8					
17	mm/d					2.4	2.5	3.0	4.3					
18	mm/d					2.4	2.4	3.0	3.6					
19	mm/d					2.4	2.7	2.9	3.4					
20	mm/d					2.4	2.9	2.9	4.0					
21	mm/d					2.4	2.5	3.1	4.0					
22	mm/d					2.4	2.2	3.0	3.6					
23	mm/d					2.4	2.3	3.1	3.6					
24	mm/d					2.4	2.3	3.2	3.6					
25	mm/d					2.4	2.2	3.1	3.6					
26	mm/d					2.4	2.9	3.3	3.6					
27	mm/d					2.4	2.7	3.3	3.6					
28	mm/d					2.4	3.0	3.1	3.6					
29	mm/d					2.4	2.8	3.0	3.6					
30	mm/d					2.1	2.7	3.0	3.6					
31	mm/d					2.7		3.3	3.6					
Tot Eff.	mm/d					2.4	2.5	2.9	3.6					2.9

MONTHLY RAIN DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\Celio_Rain_2023.CRM)

Station: celio2023

Eff. rain method: Effective rain is 80 % of actual rain

	Rain mm	Eff rain mm
January	275.0	220.0
February	77.0	61.6
March	395.0	316.0
April	83.0	66.4
May	6.0	4.8
June	0.0	0.0
July	0.0	0.0
August	0.0	0.0
September	0.0	0.0
October	200.0	160.0
November	201.0	160.8
December	202.0	161.6
Total	1439.0	1151.2

DRY CROP DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\Celio_feijao_2023.CRO)

Crop Name: Feijao2023

Planting date: 30/05

Harvest: 28/08

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	13	25	35	18	91
Kc Values	0.40	-->	1.15	0.35	
Rooting depth (m)	0.35	-->	0.70	0.70	
Critical depletion	0.45	-->	0.45	0.60	
Yield response f.	0.20	1.10	0.75	0.40	1.15
Cropheight (m)			0.40		

SOIL DATA

(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\celio SOIL.SOI)

Soil name: CelioSOIL

General soil data:

Total available soil moisture (FC - WP)	200.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	30	mm/day
Maximum rooting depth	900	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TA)	50	%
Initial available soil moisture	100.0	mm/meter

CROP WATER REQUIREMENTS

ETo station: ETo_estimada_2023_1

Crop: Feijao2023

Rain station: celio2023

Planting date: 30/05

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	3	Init	0.40	0.96	1.9	0.0	1.9
Jun	1	Init	0.40	1.08	10.8	0.1	10.6
Jun	2	Deve	0.54	1.32	13.2	0.0	13.2
Jun	3	Deve	0.87	2.23	22.3	0.0	22.3
Jul	1	Mid	1.16	3.24	32.4	0.0	32.4
Jul	2	Mid	1.20	3.41	34.1	0.0	34.1
Jul	3	Mid	1.20	3.77	41.5	0.0	41.5
Aug	1	Mid	1.20	4.21	42.1	0.0	42.1
Aug	2	Late	0.94	3.49	34.9	0.0	34.9
Aug	3	Late	0.52	1.89	15.1	0.0	15.1
					248.3	0.1	248.2

CROP IRRIGATION SCHEDULE

ETo station: ETo_estimada_202 Crop: Feijao2023
 Rain station: celio2023 Soil: CelioSOIL

Planting date: 30/05
 Harvest date: 28/08

Yield red.: 0.0 %

Crop scheduling options

Timing: Irrigate at 100 % depletion
 Application: Refill to 100 % of field capacity
 Field eff. 70 %

Table format: Daily soil moisture balance

Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta mm/day	Depl %	Net Irr mm	IrrDeficit mm	Loss mm	Gr. Irr mm	Flow l/s/ha
30 May	1	Init	0.0	0.91	0.8	51	36.7	0.0	0.0	52.4	6.07
31 May	2	Init	0.0	1.00	1.1	3	0.0	2.0	0.0	0.0	0.00
1 Jun	3	Init	0.0	1.00	1.0	5	0.0	4.0	0.0	0.0	0.00
2 Jun	4	Init	0.0	1.00	1.0	8	0.0	5.9	0.0	0.0	0.00
3 Jun	5	Init	0.1	1.00	1.1	10	0.0	7.9	0.0	0.0	0.00
4 Jun	6	Init	0.0	1.00	1.1	12	0.0	9.9	0.0	0.0	0.00
5 Jun	7	Init	0.0	1.00	1.1	14	0.0	12.0	0.0	0.0	0.00
6 Jun	8	Init	0.0	1.00	1.0	16	0.0	14.0	0.0	0.0	0.00
7 Jun	9	Init	0.1	1.00	1.1	18	0.0	16.0	0.0	0.0	0.00
8 Jun	10	Init	0.0	1.00	1.1	20	0.0	18.0	0.0	0.0	0.00
9 Jun	11	Init	0.0	1.00	1.1	22	0.0	20.0	0.0	0.0	0.00
10 Jun	12	Init	0.0	1.00	1.1	24	0.0	22.1	0.0	0.0	0.00
11 Jun	13	Init	0.0	1.00	1.0	26	0.0	24.1	0.0	0.0	0.00
12 Jun	14	Dev	0.0	1.00	1.2	27	0.0	26.2	0.0	0.0	0.00
13 Jun	15	Dev	0.0	1.00	1.0	29	0.0	28.1	0.0	0.0	0.00
14 Jun	16	Dev	0.0	1.00	1.0	30	0.0	30.0	0.0	0.0	0.00
15 Jun	17	Dev	0.0	1.00	1.1	32	0.0	32.1	0.0	0.0	0.00
16 Jun	18	Dev	0.0	1.00	1.3	33	0.0	34.3	0.0	0.0	0.00
17 Jun	19	Dev	0.0	1.00	1.5	35	0.0	36.7	0.0	0.0	0.00
18 Jun	20	Dev	0.0	1.00	1.5	37	0.0	39.2	0.0	0.0	0.00
19 Jun	21	Dev	0.0	1.00	1.8	39	0.0	41.9	0.0	0.0	0.00
20 Jun	22	Dev	0.0	1.00	2.0	41	0.0	44.8	0.0	0.0	0.00
21 Jun	23	Dev	0.0	1.00	1.8	42	0.0	47.6	0.0	0.0	0.00
22 Jun	24	Dev	0.0	1.00	1.7	44	0.0	50.2	0.0	0.0	0.00
23 Jun	25	Dev	0.0	1.00	1.8	46	52.9	0.0	0.0	75.6	8.75
24 Jun	26	Dev	0.0	1.00	1.9	2	0.0	2.8	0.0	0.0	0.00
25 Jun	27	Dev	0.0	1.00	1.8	5	0.0	5.6	0.0	0.0	0.00
26 Jun	28	Dev	0.0	1.00	2.6	8	0.0	9.2	0.0	0.0	0.00
27 Jun	29	Dev	0.0	1.00	2.5	10	0.0	12.6	0.0	0.0	0.00
28 Jun	30	Dev	0.0	1.00	2.8	13	0.0	16.3	0.0	0.0	0.00
29 Jun	31	Dev	0.0	1.00	2.7	16	0.0	20.0	0.0	0.0	0.00
30 Jun	32	Dev	0.0	1.00	2.7	18	0.0	23.7	0.0	0.0	0.00
1 Jul	33	Dev	0.0	1.00	2.7	21	0.0	27.3	0.0	0.0	0.00
2 Jul	34	Dev	0.0	1.00	2.7	23	0.0	31.0	0.0	0.0	0.00
3 Jul	35	Dev	0.0	1.00	2.9	26	0.0	34.8	0.0	0.0	0.00
4 Jul	36	Dev	0.0	1.00	3.1	28	0.0	38.8	0.0	0.0	0.00
5 Jul	37	Dev	0.0	1.00	3.2	31	0.0	42.9	0.0	0.0	0.00
6 Jul	38	Dev	0.0	1.00	3.6	33	0.0	46.6	0.0	0.0	0.00
7 Jul	39	Mid	0.0	1.00	3.5	36	0.0	50.0	0.0	0.0	0.00
8 Jul	40	Mid	0.0	1.00	3.4	38	0.0	53.5	0.0	0.0	0.00
9 Jul	41	Mid	0.0	1.00	3.6	41	0.0	57.1	0.0	0.0	0.00
10 Jul	42	Mid	0.0	1.00	3.7	43	0.0	60.8	0.0	0.0	0.00
11 Jul	43	Mid	0.0	1.00	3.6	46	64.4	0.0	0.0	92.0	10.65
12 Jul	44	Mid	0.0	1.00	3.6	3	0.0	3.6	0.0	0.0	0.00
13 Jul	45	Mid	0.0	1.00	3.6	5	0.0	7.2	0.0	0.0	0.00
14 Jul	46	Mid	0.0	1.00	2.6	7	0.0	9.9	0.0	0.0	0.00
15 Jul	47	Mid	0.0	1.00	3.1	9	0.0	13.0	0.0	0.0	0.00

16 Jul	48	Mid	0.0	1.00	3.4	12	0.0	16.4	0.0	0.0	0.00
17 Jul	49	Mid	0.0	1.00	3.6	14	0.0	20.0	0.0	0.0	0.00
18 Jul	50	Mid	0.0	1.00	3.6	17	0.0	23.5	0.0	0.0	0.00
19 Jul	51	Mid	0.0	1.00	3.4	19	0.0	27.0	0.0	0.0	0.00
20 Jul	52	Mid	0.0	1.00	3.5	22	0.0	30.5	0.0	0.0	0.00
21 Jul	53	Mid	0.0	1.00	3.8	24	0.0	34.3	0.0	0.0	0.00
22 Jul	54	Mid	0.0	1.00	3.6	27	0.0	37.8	0.0	0.0	0.00
23 Jul	55	Mid	0.0	1.00	3.7	30	0.0	41.6	0.0	0.0	0.00
24 Jul	56	Mid	0.0	1.00	3.8	32	0.0	45.4	0.0	0.0	0.00
25 Jul	57	Mid	0.0	1.00	3.7	35	0.0	49.1	0.0	0.0	0.00
26 Jul	58	Mid	0.0	1.00	4.0	38	0.0	53.0	0.0	0.0	0.00
27 Jul	59	Mid	0.0	1.00	3.9	41	0.0	57.0	0.0	0.0	0.00
28 Jul	60	Mid	0.0	1.00	3.7	43	0.0	60.7	0.0	0.0	0.00
29 Jul	61	Mid	0.0	1.00	3.7	46	64.3	0.0	0.0	91.9	10.64
30 Jul	62	Mid	0.0	1.00	3.6	3	0.0	3.6	0.0	0.0	0.00
31 Jul	63	Mid	0.0	1.00	4.0	5	0.0	7.6	0.0	0.0	0.00
1 Aug	64	Mid	0.0	1.00	4.1	8	0.0	11.7	0.0	0.0	0.00
2 Aug	65	Mid	0.0	1.00	4.1	11	0.0	15.9	0.0	0.0	0.00
3 Aug	66	Mid	0.0	1.00	4.1	14	0.0	20.0	0.0	0.0	0.00
4 Aug	67	Mid	0.0	1.00	3.8	17	0.0	23.8	0.0	0.0	0.00
5 Aug	68	Mid	0.0	1.00	4.4	20	0.0	28.2	0.0	0.0	0.00
6 Aug	69	Mid	0.0	1.00	4.0	23	0.0	32.2	0.0	0.0	0.00
7 Aug	70	Mid	0.0	1.00	4.2	26	0.0	36.4	0.0	0.0	0.00
8 Aug	71	Mid	0.0	1.00	4.5	29	0.0	40.9	0.0	0.0	0.00
9 Aug	72	Mid	0.0	1.00	4.3	32	0.0	45.2	0.0	0.0	0.00
10 Aug	73	Mid	0.0	1.00	4.5	36	0.0	49.7	0.0	0.0	0.00
11 Aug	74	End	0.0	1.00	3.6	38	0.0	53.3	0.0	0.0	0.00
12 Aug	75	End	0.0	1.00	3.9	41	0.0	57.2	0.0	0.0	0.00
13 Aug	76	End	0.0	1.00	3.8	44	0.0	61.0	0.0	0.0	0.00
14 Aug	77	End	0.0	1.00	4.1	47	0.0	65.1	0.0	0.0	0.00
15 Aug	78	End	0.0	1.00	3.7	49	68.8	0.0	0.0	98.3	11.38
16 Aug	79	End	0.0	1.00	3.5	2	0.0	3.5	0.0	0.0	0.00
17 Aug	80	End	0.0	1.00	3.8	5	0.0	7.3	0.0	0.0	0.00
18 Aug	81	End	0.0	1.00	3.0	7	0.0	10.3	0.0	0.0	0.00
19 Aug	82	End	0.0	1.00	2.7	9	0.0	12.9	0.0	0.0	0.00
20 Aug	83	End	0.0	1.00	2.9	11	0.0	15.8	0.0	0.0	0.00
21 Aug	84	End	0.0	1.00	2.7	13	0.0	18.5	0.0	0.0	0.00
22 Aug	85	End	0.0	1.00	2.3	15	0.0	20.8	0.0	0.0	0.00
23 Aug	86	End	0.0	1.00	2.1	16	0.0	22.9	0.0	0.0	0.00
24 Aug	87	End	0.0	1.00	1.9	18	0.0	24.9	0.0	0.0	0.00
25 Aug	88	End	0.0	1.00	1.8	19	0.0	26.7	0.0	0.0	0.00
26 Aug	89	End	0.0	1.00	1.6	20	0.0	28.3	0.0	0.0	0.00
27 Aug	90	End	0.0	1.00	1.4	21	0.0	29.7	0.0	0.0	0.00
28 Aug	End	End	0.0	1.00	1.6	21					

Totals:

Total gross irrigation	410.3 mm	Total rainfall	0.1 mm
Total net irrigation	287.2 mm	Effective rainfall	0.1 mm
Total irrigation losses	0.0 mm	Total rain loss	0.0 mm

Actual water use by crop	247.0 mm	Moist deficit at harvest	29.7 mm
Potential water use by crop	247.1 mm	Actual irrigation requirement	246.9 mm

Efficiency irrigation schedule	100.0 %	Efficiency rain	100.0 %
Deficiency irrigation schedule	0.0 %		

Yield reductions:

Stagelabel	A	B	C	D	Season
Reductions in ETc	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Yield response factor	0.20	1.10	0.75	0.40	1.15
Yield reduction	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Cumulative yield reduction	0.1	0.1	0.1	0.1	%

ANEXO III – REFERÊNCIAS DAS CONTRIBUIÇÕES EM OUTROS TRABALHOS DURANTE O PERÍODO DO MESTRADO

BORELLA, DANIELA ROBERTA; PAULISTA, RHAVEL SALVIANO DIAS; ALVES, MARCO AURÉLIO BARBOSA; MARTIM, CHARLES CAMPOE; **DA SILVA, CÉLIO JACINTO**; DE ALMEIDA, FREDERICO TERRA; DE SOUZA, ADILSON PACHECO. **Flow Measurement Methods in Small Tributaries of the Teles Pires River, Southern of the Amazon Hydrological Region.** Water, v. 15, p. 3811, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15213811>.

PAULISTA, RHAVEL SALVIANO DIAS; **DA SILVA, CÉLIO JACINTO**; MARTIM, CHARLES CAMPOE; GERBONI, JONES APARECIDO; DE SOUZA, ADILSON PACHECO; DE ALMEIDA, FREDERICO TERRA. **Aerovanes Remotamente Pilotadas (RPA) e Fluxo Óptico Aplicados na Medição de Velocidades do Rio Celeste-MT, Brasil.** In: XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2023, Aracaju - SE. XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2023. ISSN 2318-0358. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0317-1-20230531-175838.pdf>.