

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA A PRODUTIVIDADE DE SEMENTES E ÓLEO  
DE CANOLA**

Joslanny Higino Vieira  
*Doctor Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2024**

**JOSLANNY HIGINO VIEIRA**

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA A PRODUTIVIDADE DE SEMENTES E ÓLEO  
DE CANOLA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Catariny C. Aleman Pina

Coorientador: Domingos S. M. Valente

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

V658m  
2024

Vieira, Joslanny Higino, 1994-  
Manejo da irrigação para a produtividade de sementes e  
óleo de canola / Joslanny Higino Vieira. – Viçosa, MG, 2024.  
1 tese eletrônica (83 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Catariny Cabral Aleman.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Agrícola, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.076>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Canola - Irrigação. 2. Canola - Fenologia.  
3. Evapotranspiração. I. Aleman, Catariny Cabral, 1988-  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.  
III. Título.

CDD 22. ed. 633.85

**JOSLANNY HIGINO VIEIRA**

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA A PRODUTIVIDADE DE SEMENTES E ÓLEO DE CANOLA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 8 de outubro de 2024.

Assentimento:

---

Joslanny Higino Vieira  
Autora

---

Catariny Cabral Aleman Pina  
Orientadora

Essa tese foi assinada digitalmente pela autora em 18/02/2025 às 18:42:41 e pela orientadora em 18/02/2025 às 18:43:47. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **QHOL.32VD.NGZC** e clique no botão 'Validar documento'.

Aos meus pais, **Maria Aparecida e Osmar**, por todo o amor incondicional e por terem me proporcionado a oportunidade de alcançar esta formação. Graças a vocês, realizei meus sonhos e atingi meus objetivos. Vocês são os pilares da minha jornada.

Ao meu amado esposo, Laylton, por seu apoio constante e por sempre acreditar no meu potencial, mesmo nos momentos em que eu não consigo enxergá-lo. Sua presença é uma inspiração para evoluir a cada dia.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus, na Trindade Pai, Filho e Espírito Santo**, por me conceder a dádiva da vida, o privilégio de aprender e a força para seguir meu caminho.

Aos meus pais, **Maria Aparecida e Osmar**, expresso minha profunda gratidão por estarem sempre ao meu lado, guiando-me com amor e sabedoria pelo caminho do bem.

Às minhas adoradas irmãs, **Jadla, Jamile e Julia**, agradeço por serem a minha constante fonte de inspiração e por me impulsionarem a seguir sempre em frente, com coragem e determinação.

Ao meu amado esposo, **Laylton**, minha eterna gratidão pelo apoio incondicional durante todos esses anos e por sua valiosa contribuição na revisão deste trabalho, o que fez toda a diferença.

Aos meus queridos amigos, **Adelaide Cristielle, Ana Isabel, Carlos Oliveira e Jeniffer Pacheco**, sou fortemente grata pelo apoio inestimável durante toda esta pesquisa, que foi essencial para transformar a ideia em realidade.

Expresso gratidão a **José Antônio Ferreira**, cujo apoio em diversas etapas dos experimentos em campo, na Área de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola, foi essencial para o sucesso deste trabalho.

Agradeço sinceramente ao professor **Márcio Arêdes** pela generosidade em disponibilizar o Laboratório de Biocombustíveis, e ao técnico **Maurício**, cujo auxílio foi imprescindível para o desenvolvimento das atividades laboratoriais envolvendo a extração e análise do óleo de canola.

Sou igualmente grata ao professor **Ernandes** pelas valiosas ideias e pelo apoio nas análises de extração de proteína da canola. Por fim, um agradecimento especial a **Izabelle de Paula**, por toda a assistência prestada durante o desenvolvimento dessas análises.

Finalmente, minha profunda admiração e gratidão à professora **Catariny**, minha orientadora, por todos os ensinamentos, incentivos e pela amizade que cultivamos ao longo desta jornada.

À Universidade Federal de Viçosa e aos professores do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, meu sincero agradecimento pela oportunidade de adquirir conhecimentos valiosos e crescer profissionalmente.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

E por fim, mas não menos importante, agradeço a **você**, caro(a) leitor(a),

que está dedicando seu tempo para explorar esta pesquisa. Espero que ela enriqueça seus conhecimentos, desperte sua curiosidade científica e o(a) inspire a seguir em frente com a paixão que impulsiona as descobertas e o avanço da humanidade.

"Deus é bom o tempo todo e o tempo todo Deus é bom" — Autor desconhecido

## RESUMO

VIEIRA, Joslanny Higino, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2024. **MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA A PRODUTIVIDADE DE SEMENTES E ÓLEO DE CANOLA.** Orientadora: Catariny Cabral Aleman Pina. Coorientador: Domingos Sarvio Magalhaes Valente.

A canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) tem se destacado como uma importante cultura oleaginosa, com crescente demanda mundial. No Brasil, o cultivo da canola ainda é incipiente, apesar do potencial produtivo de diversas regiões. A escassez de informações sobre a eficiência hídrica dessa cultura, especialmente em diferentes condições edafoclimáticas, limita sua expansão e a adoção de práticas de manejo adequadas. Partindo desse pressuposto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o crescimento e desenvolvimento da cultura submetida a diferentes lâminas de irrigação. Para tal, o experimento foi conduzido em Viçosa -MG, nos anos 2022 e 2023. O delineamento dos experimentos foi em blocos ao acaso, com quatro repetições por tratamento sendo eles: 0 (sem irrigação), 20, 40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). O sistema de irrigação adotado foi o gotejamento superficial. Para determinação dos parâmetros morfológicos da cultura foram realizadas cinco avaliações aos 40, 60, 80, 100 e 125 dias após a germinação (DAG). Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão, com nível de significância de até 5%. A média de água utilizada no ciclo total da canola foi de 224 mm. As variáveis: altura das plantas, biomassa total, biomassa fresca das folhas, do caule (P <0,01) obtiveram interação entre o fator tempo e irrigação, em ambos os ciclos de cultivo. A irrigação exerceu efeito significativo sobre a biomassa da inflorescência fresca e secas, a biomassa das síliquas frescas e secas, e o peso de 1000 sementes. Diferentes lâminas de irrigação influenciaram na produtividade das sementes, óleo, teor de óleo e o índice de acidez (P<0.01). Os resultados evidenciam a eficácia do uso da lâmina de irrigação de 100% da evapotranspiração da cultura como alternativa para aprimorar a gestão da irrigação e potencializar a produtividade da canola na região estudada.

Palavras-chave: *brassica napus* L. lâminas de irrigação. evapotranspiração da cultura. fases fenológicas.

## ABSTRACT

VIEIRA, Joslanny Higino, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2024. **Irrigation management for canola seed and oil productivity**. Adviser: Catariny Cabral Aleman Pina. Co-adviser: Domingos Sarvio Magalhaes Valente.

Canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) has emerged as an important oilseed crop with growing global demand. In Brazil, canola cultivation is still incipient despite the productive potential of various regions. The scarcity of information on the water-use efficiency of this crop, especially under different edaphoclimatic conditions, limits its expansion and the adoption of appropriate management practices. However, with the aim of better understanding canola's behavior under different irrigation regimes, this study evaluated the effects of irrigation on the plant's morphological development at various phenological stages. To this end, two experiments were conducted in Viçosa, MG, in 2022 and 2023. The experimental design was randomized blocks with four repetitions per treatment and six treatments: 0 (rainfed) and irrigations with 20, 40, 60, 80, and 100% of the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>). The adopted irrigation system was surface drip irrigation. Five assessments were conducted at 40, 60, 80, 100, and 125 days after germination (DAG) to determine the crop's morphological parameters. Data were analyzed using analysis of variance and regression, with a significance level of up to 5%. The average water used by canola was 224 mm. The variables: plant height, total biomass, fresh leaf biomass, and stem biomass ( $P < 0.01$ ) showed interaction between time and irrigation factors in both crop cycles. Irrigation had a significant effect on fresh and dry inflorescence biomass, fresh and dry siliques biomass, and the weight of 1000 seeds. Different irrigation levels influenced seed yield and water productivity for seeds, oil yield from seeds, water productivity for oil, oil content, and acidity index ( $P < 0.01$ ). The results highlight the effectiveness of using the 100% crop evapotranspiration irrigation level as an alternative to improve irrigation management and enhance canola productivity in the studied region. Therefore, it is concluded that irrigation has positive effects on canola development at different phenological stages.

Keywords: *brassica napus* l. depth irrigation. evapotranspiration of the crop. phenological stages.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Temperaturas máxima e mínima (°C) A (1° Ciclo) B (2° Ciclo), umidade relativa (%) e ponto de orvalho (°C) (C; D), precipitação pluviométrica acumulada (mm) e evapotranspiração (mm) (E e F) durante o período experimental em dias após a semeadura (DAS), nos dois anos de estudo.....21
- Figura 2 – Croqui referente as parcelas dos experimentos realizados nos anos de 2022 e 2023, na área experimental de irrigação e drenagem, pertencente ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG .....22
- Figura 3 – Semeadura (A) e Emergência (B) em experimentos com canola irrigada, na área experimental de irrigação e drenagem, pertencente ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG .....23
- Figura 4 – Incidência de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary) (A) e tombamento de plantas (B) em experimentos com canola irrigada, na área experimental de irrigação e drenagem, pertencente ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG .....23
- Figura 5 – Estágio fenológico referente ao alongamento da haste principal (E2), aos 40 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Registro das plantas com caule alongado (A) e com oito a nove folhas completamente expandidas (B) .....25
- Figura 6 – Estágio fenológico referente ao desenvolvimento dos botões florais (E3), aos 60 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Botão floral com vista superior (A) e vista lateral (B).....25
- Figura 7 – Estágio fenológico referente ao desenvolvimento dos botões florais (E3), aos 80 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Detalhe da inflorescência (A) e campo florido de canolas (B) .....26
- Figura 8– Estágio fenológico referente ao desenvolvimento das siliquis e enchimento das sementes (E5), aos 100 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Detalhe das siliquis (A) e campo com siliquis de canolas (B) .....26
- Figura 9 – Estágio fenológico referente a maturação das sementes (E6), aos 125 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. sob lâminas de irrigação. Detalhe das siliquis secas (A) e campo com siliquis secas de canolas (B).....27
- Figura 10 – Tensiômetros instalados no experimento com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Detalhe dos tensiômetros (A) e vista dos tensiômetros nos tratamentos (B) .....29

Figura 11 – Avaliações de altura (A), diâmetro do caule (B), peso fresco total da cultura (C), peso fresco das folhas (D), peso fresco das inflorescências (E), peso fresco das síliquas (F), peso seco das folhas (G), peso seco do caule (H) e peso seco das inflorescências (I) das plantas de canola ( <i>Brassica napus</i> L. var. oleífera) cultivada sob lâminas de irrigação .....	30
Figura 12– Separação das sementes de canola ( <i>Brassica napus</i> L. var. oleífera) do tratamento de 100% da Evapotranspiração da Cultura (ETc) (A) e contagem das sementes pelo aplicativo <i>CountThings</i> (B) .....	31
Figura 13 - Valores médios para a altura de planta (cm) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022). .....	34
Figura 14 - Valores médios para a altura de planta (cm) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023). .....	34
Figura 15 - Valores médios para a diâmetro da haste da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , sob lâminas de irrigação (A) e em relação aos dias após a germinação (B), no 1º Ciclo de cultivo (2022).....	36
Figura 16 - Valores médios para a diâmetro da haste da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , sob lâminas de irrigação (A) e em relação aos dias após a germinação (B). .....	36
Figura 17 - Valores médios para biomassa total da canola (BMT), cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022). .....	37
Figura 18 - Valores médios para biomassa total da canola (BMT), cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023). .....	38
Figura 19 - Valores médios para a biomassa das folhas (g planta <sup>-1</sup> ) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022). .....	40
Figura 20 - Valores médios para a biomassa das folhas (g planta <sup>-1</sup> ) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023). .....	41
Figura 21 - Valores médios para a biomassa do caule (g planta <sup>-1</sup> ) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022). .....	43
Figura 22 - Valores médios para a biomassa do caule (g planta <sup>-1</sup> ) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023). .....	43
Figura 23 - Valores médios para a biomassa seca do caule (g planta <sup>-1</sup> ) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022). .....	45

Figura 24 - Valores médios para a biomassa seca do caule ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2° Ciclo de cultivo (2023). .....	46
Figura 25- Valores médios para a biomassa das inflorescências frescas (A) e secas (B) ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%), no 1° Ciclo de cultivo (2022). .....	48
Figura 26 - Valores médios para a biomassa das inflorescências frescas (A) e secas (B) ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%), no 2° Ciclo de cultivo (2023). .....	48
Figura 27 - Valores médios para a biomassa das siliquis frescas (A) e secas (B) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%), no 1° Ciclo de cultivo (2022). ....	50
Figura 28 - Valores médios para a biomassa das siliquis frescas (A) e secas (B) da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%), no 2° Ciclo de cultivo (2023). ....	50
Figura 29 - Valores médios para o peso de 1000 sementes da canola, cv. <i>Nuola 300</i> , em função da variação na lâmina irrigada (%), no 1° ciclo (A) e 2° ciclo (B) .....	51
Figura 30 – Sistema de irrigação dos experimentos com canola irrigada, na área experimental de irrigação e drenagem (A), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG. Fita gotejadora e linha de semeadura (B).....	64
Figura 31 - Design do experimento em campo, ponto de colheita, preparação de amostras para análises do óleo.....	67
Figura 32 - A Determinação da acidez do óleo de canola por titulação em laboratório (A) e a mudança da coloração da solução sem amostra (teste em branco) após o teste (B).....	67
Figura 33 - Produtividade das sementes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (A) e produtividade de óleo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (B) de canola sob lâminas de irrigação (% ETc), no 1° Ciclo (2021). .....	69
Figura 34 - Produtividade das sementes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (A) e produtividade de óleo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (B) de canola sob lâminas de irrigação (% ETc), no 2° Ciclo (2022). .....	70
Figura 35 - Produtividade de água para as sementes (WP) (A) e produtividade de água para o óleo (WPO), (B), ambas relacionadas à cultura de canola e variando sob diferentes lâminas de irrigação (%ETc) no 1° Ciclo de cultivo (2022). .....	71
Figura 36 - Produtividade de água para as sementes (WP), à esquerda, e produtividade de água para o óleo (WPO), à direita, ambas relacionadas à cultura de canola e variando sob diferentes lâminas de irrigação (%ETc) no 2° Ciclo de cultivo (2023) .....	72
Figura 37 - Porcentagem média de óleo em sementes de canola cultivado sob lâminas de irrigação (%) no 1° e 2° ciclo de cultivo. ....	74
Figura 38 - Índice de Acidez (A) em sementes de canola cultivado sob lâminas de irrigação (%) nos diferentes ciclos de cultivo. Leg: 1° Ciclo (2022) e 2° Ciclo (2023).....	75

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1 – CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA CANOLA IRRIGADA NA ZONA DA MATA MINEIRA.....</b>	<b>18</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>18</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Área experimental .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Delineamento Experimental .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. Práticas agronômicas.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4. Definição das fases fenológicas .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5. Manejo e sistema de irrigação .....</b>	<b>27</b>
<b>2.6. Conteúdo atual de água no solo .....</b>	<b>28</b>
<b>2.7. Variáveis morfofisiológicas avaliadas .....</b>	<b>29</b>
<b>2.8. Análise estatística.....</b>	<b>32</b>
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Utilização de água da canola.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Variáveis morfológicas avaliadas .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.1 Altura das plantas.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.2 Diâmetro do caule .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.3 Biomassa total .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.4 Biomassa das Folhas .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.5 Biomassa do caule .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.6 Biomassa das inflorescências .....</b>	<b>47</b>

3.2.7	Biomassa das siliquas .....	49
3.2.8.	1000 sementes .....	51
4.	DISCUSSÃO .....	52
5.	CONCLUSÕES.....	56
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>57</u>
<b>CAPÍTULO 2 – MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA A PRODUTIVIDADE DE SEMENTES E ÓLEO DE CANOLA .....</b>		
	<u>RESUMO.....</u>	<u>61</u>
1.	INTRODUÇÃO.....	62
2.	MATERIAL E MÉTODOS .....	63
2.1.	Área experimental .....	63
2.2.	Delineamento Experimental .....	63
2.3.	Manejo de irrigação e utilização de água da canola .....	64
2.4.	Produtividade das sementes.....	65
2.5.	Produtividade de água.....	66
2.6.	Pré-tratamento das sementes.....	66
2.7.	Caracterização das sementes de canola .....	66
2.8.	Extração do Óleo de Canola .....	66
2.9.	Acidez óleo de canola.....	67
3.	RESULTADOS .....	68
3.1.	Utilização de água pela cultura da canola .....	68
3.2.	Produtividade das sementes e óleo .....	69
3.3.	Produtividade de Água e óleo .....	71
3.4.	Composição das sementes .....	73
3.5.	Óleo de Canola .....	74
4.	DISCUSSÃO .....	75
4.2.	Produtividade das sementes e óleo .....	75

<b>4.3. Produtividade de água.....</b>	<b>77</b>
<b>4.4. Composição das sementes .....</b>	<b>78</b>
<b>4.5. Óleo de Canola .....</b>	<b>79</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>81</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

A canola (*B. napus* L. var. *Oleifera*) é uma oleaginosa amplamente cultivada para a produção de óleo vegetal e biodiesel em diversas regiões do mundo. Em 2022, a área plantada de canola alcançou cerca de 39 milhões de hectares, com uma produtividade média de 2.182,40 kg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2024). No Brasil, o cultivo de canola tem crescido significativamente, especialmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, impulsionado pela demanda por óleo vegetal e biocombustíveis (Guimarães et al., 2022).

Uma das principais vantagens do cultivo da canola é seu mercado consolidado para óleo vegetal e usos industriais, como lubrificantes e cosméticos (Chaganti et al., 2021). Além disso, a sua utilização na produção de biocombustíveis, favorece significativamente na geração de receita agrícola (Katuwal et al., 2018).

A canola é conhecida por sua tolerância ao estresse hídrico, o que a torna uma alternativa viável para o cultivo em áreas com recursos hídricos limitados (López-Urrea et al., 2020). A irrigação em déficit, por exemplo, que é uma estratégia que aplica intencionalmente menos água do que a evapotranspiração total da cultura, controlando o tempo de irrigação para minimizar impactos negativos no rendimento das sementes (English, 1990; Hergert et al., 2016). Pode ser uma estratégia para otimizar o uso da água, pois possibilita que a planta se adeque ao estresse hídrico e mantenha sua produtividade sem comprometer significativamente a lucratividade do negócio (Guimarães et al., 2022).

No caso da canola, que é uma oleaginosa anual, a compreensão do comportamento nas fases fenológicas apresenta algumas questões a serem respondidas (Sulik e Long, 2015), tais como: até quanto a redução da evapotranspiração interfere no desenvolvimento morfológico, produtivo e no potencial final para conversão de biocombustível e qualidade do óleo. Embora algumas pesquisas tenham sido desenvolvidas sobre essas questões (Bañuelos, Bryla e Cook, 2002; Hergert et al., 2016; Mohtashami et al., 2020), na região da zona da mata mineira brasileira nenhuma pesquisa até o presente momento estudou como a variação da reposição da irrigação interfere nessas questões.

Neste sentido, dado o crescimento da canola no Brasil e sua importância econômica, este estudo tem como objetivo avaliar como diferentes lâminas de irrigação influenciam nas características morfológicas e produtivas da canola, no Capítulo I. Além de contribuir para o

aprimoramento das práticas de manejo hídrico na canola (Capítulo II), visando otimizar a produção sem comprometer a qualidade do óleo e o potencial para biocombustíveis.

## REFERÊNCIAS

- BAÑUELOS, G. S.; BRYLA, D. R.; COOK, C. G. Vegetative production of kenaf and canola under irrigation in central California. **Industrial Crops and Products**, v. 15, n. 3, p. 237–245, maio 2002.
- CHAGANTI, V. N.; GANJEGUNTE, G.; NIU, G.; ULERY, A.; ENCISO, J. M.; FLYNN, R.; MEKI, N.; KINIRY, J. R. Yield response of canola as a biofuel feedstock and soil quality changes under treated urban wastewater irrigation and soil amendment application. **Industrial Crops and Products**, v. 170, p. 113659, out. 2021.
- ENGLISH, M. Deficit irrigation. I: Analytical framework. **Journal of irrigation and drainage engineering**, v. 116, p. 399–412, 1990.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT database**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 3 jan. 2024.
- GUIMARÃES, C. G.; SANTOS, A. DOS; RODRIGUES, E. V.; LAVIOLA, B. G. **Canola: Panorama atual e tecnologias de produção no Brasil**. Brasília, 2022.
- HERGERT, G. W.; MARGHEIM, J. F.; PAVLISTA, A. D.; MARTIN, D. L.; SUPALLA, R. J.; ISBELL, T. A. Yield, irrigation response, and water productivity of deficit to fully irrigated spring canola. **Agricultural Water Management**, v. 168, p. 96–103, abr. 2016.
- KATUWAL, K.B., ANGADI, S. V., SINGH, S., CHO, Y., BEGNA, S., UMESH, M.R., 2018. Growth-Stage-Based Irrigation Management on Biomass, Yield, and Yield Attributes of Spring Canola in the Southern Great Plains. **Crop Science**. 58, 2623–2632. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.02.0116>
- LÓPEZ-URREA, R.; SÁNCHEZ, J. M.; LA CRUZ, F. DE; GONZÁLEZ-PIQUERAS, J.; CHÁVEZ, J. L. Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements for sprinkler-irrigated canola. **Agricultural Water Management**, v. 239, p. 106260, set. 2020.
- MOHTASHAMI, R.; MOVAHHEDI DEHNAVI, M.; BALOUCHI, H.; FARAJI, H. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. **Agricultural Water Management**, v. 232, p. 106046, abr. 2020.
- SULIK, J. J.; LONG, D. S. Spectral indices for yellow canola flowers. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 10, p. 2751–2765, 2015.
- WU, J.; WANG, J.; HUI, W.; ZHAO, F.; WANG, P.; SU, C.; GONG, W. Physiology of Plant Responses to Water Stress and Related Genes: A Review. **Forests**, v. 13, n. 2, p. 324, 16 fev. 2022.

## CAPÍTULO 1 – CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA CANOLA IRRIGADA NA ZONA DA MATA MINEIRA

### RESUMO

A canola tem se destacado como uma opção de cultivo promissora no sudeste brasileiro, incluindo a Zona da Mata de Minas Gerais. Para melhor compreender o comportamento da cultura nessa região, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da irrigação no desenvolvimento morfológico da canola em diferentes fases fenológicas. O experimento foi conduzido em Viçosa-MG durante os anos de 2022 e 2023. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, utilizando seis lâminas de água: 0 (sem irrigação), 20, 40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento superficial. Realizaram-se avaliações nas fases fenológicas E2 (40 dias após a germinação - DAG), E3 (60 DAG), E4 (80 DAG), E5 (100 DAG) e E6 (125 DAG). Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão, com nível de significância de 5%. A lâmina média de água acumulada nos dois ciclos da cultura foi de 224 mm. Houve interação entre os fatores, em ambos os ciclos de cultivo, para as variáveis: altura das plantas (H), biomassa total (BMT), biomassa fresca das folhas (BMF), do caule (BMC) ( $P < 0,01$ ). A inflorescência fresca (BMI) e secas (BMIS), as siliques frescas (BMS) e secas (BMSS) foram influenciadas pela irrigação. A irrigação influenciou o peso de 1000 sementes, apresentando um incremento de 0,28 (1º Ciclo) e 0,22 (2º Ciclo) para cada incremento nas lâminas de irrigação, atingindo 3,76g e 3,27g por planta quando irrigada a 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). A partir dos resultados da pesquisa, conclui-se que a irrigação apresenta efeitos positivos no desenvolvimento da canola em diferentes fases fenológicas.

Palavras-Chave: *Brassica napus* L. Evapotranspiração da cultura. Fases fenológicas. Manejo de irrigação.

## 1. INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas, crescimento populacional, escassez hídrica e de alimentos são alguns dos desafios enfrentados no mundo (Nadeem et al., 2019). A agricultura mundial, que já sofre com a escassez de água no solo em regiões de secas severas (Losa et al., 2022; Nadeem et al., 2019), busca na irrigação uma forma de otimizar a gestão dos recursos hídricos alinhada aos cenários agroclimáticos futuros para proporcionar segurança alimentar (Liu et al., 2017).

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleífera*), que é a terceira cultura oleaginosa mais produzida mundialmente (Rahimi-Moghaddam et al., 2021), é amplamente empregada para o consumo humano, matéria-prima renovável para biodiesel (Wu et al., 2018) e com aplicações têxteis em constante ascensão (Shuvo et al., 2020).

A canola é uma excelente opção de cultivo entre safras para o agronegócio. A cultura tem potencial de expansão para as regiões acima de 600 metros como áreas do centro-oeste, sudeste e sul do país (Fuzaro et al., 2018; Silva et al., 2017). Em Minas Gerais, a avaliação de híbridos de canola em função de épocas de semeadura foi realizada na região de Viçosa, o estudo indicou um elevado potencial produtivo das sementes e de óleo para a cultura (Lus et al., 2014).

Contudo, além das considerações relacionadas às condições climáticas para o cultivo, a gestão da irrigação desempenha um papel fundamental no desenvolvimento morfofisiológico da cultura (Chai et al., 2020), pois a canola é sensível ao estresse hídrico (Katuwal et al., 2020).

As condições de estresse abiótico impõem diversos efeitos no metabolismo vegetal associados aos estágios de crescimento, capacidade de armazenamento de água no solo e aspectos morfofisiológicos da planta (Jalil and Ansari, 2020). Nesse contexto, é pertinente observar que a canola cultivada no território brasileiro apresenta um ciclo de desenvolvimento dividido em sete estágios fenológicos distintos (Guimarães et al., 2022). A duração e a intensidade do estresse hídrico durante esses estágios podem incidir diretamente na concentração de biomassa destinada ao enchimento das sementes (Katuwal et al., 2018; Raza, 2021).

Ao considerar-se o contexto do desenvolvimento do sistema produtivo da canola irrigada em regiões caracterizadas por invernos secos, a exemplo da Zona da Mata mineira, depara-se com um desafio significativo: a necessidade de compreender e otimizar a estratégia de manejo da irrigação, visando promover o desenvolvimento morfofisiológico mais eficiente da cultura.

Dessa forma, em consonância com a relevância econômica da canola para o Brasil e o potencial de expansão para o estado de Minas Gerais, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da irrigação no desenvolvimento morfológico da canola em diferentes fases fenológicas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área experimental

Experimentos em campo foram conduzidos na área experimental de Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil, em 2022 (1° Ciclo) e 2023 (2° Ciclo). O clima da região, segundo classificação climática de Köppen, é do tipo “Cwa”: tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco (Alvares et al., 2013).

O solo da área experimental foi classificado como Argisolo Amarelo Vermelho (Santos, 2018) e suas características químicas e físicas são apresentadas nas Tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental de Irrigação e Drenagem, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Ano	Prof. (cm)	pH	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	SB	CTC	V
		H <sub>2</sub> O	cmol.dm <sup>-3</sup>			mg.dm <sup>-3</sup>		Cmolc.dm <sup>-3</sup>			%
2022	0-20	5,52	3,94	0,75	0,00	28,3	141	3,3	4,05	7,35	55,1
	20-40	5,60	3,88	0,71	0,00	24,2	135	3,0	3,94	6,94	56,8
2023	0-20	5,51	2,86	0,66	0,00	30,2	79	3,5	3,75	7,25	51,7
	20-40	5,48	2,85	0,64	0,00	18,7	64	3,3	3,69	6,99	52,8

Legenda: P, K disponíveis extraídos com Mehlich I; Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e Al<sup>+3</sup> trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB - saturação por bases; CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - índice de saturação por bases; P-rem - fósforo remanescente. Fonte: Autora (2024).

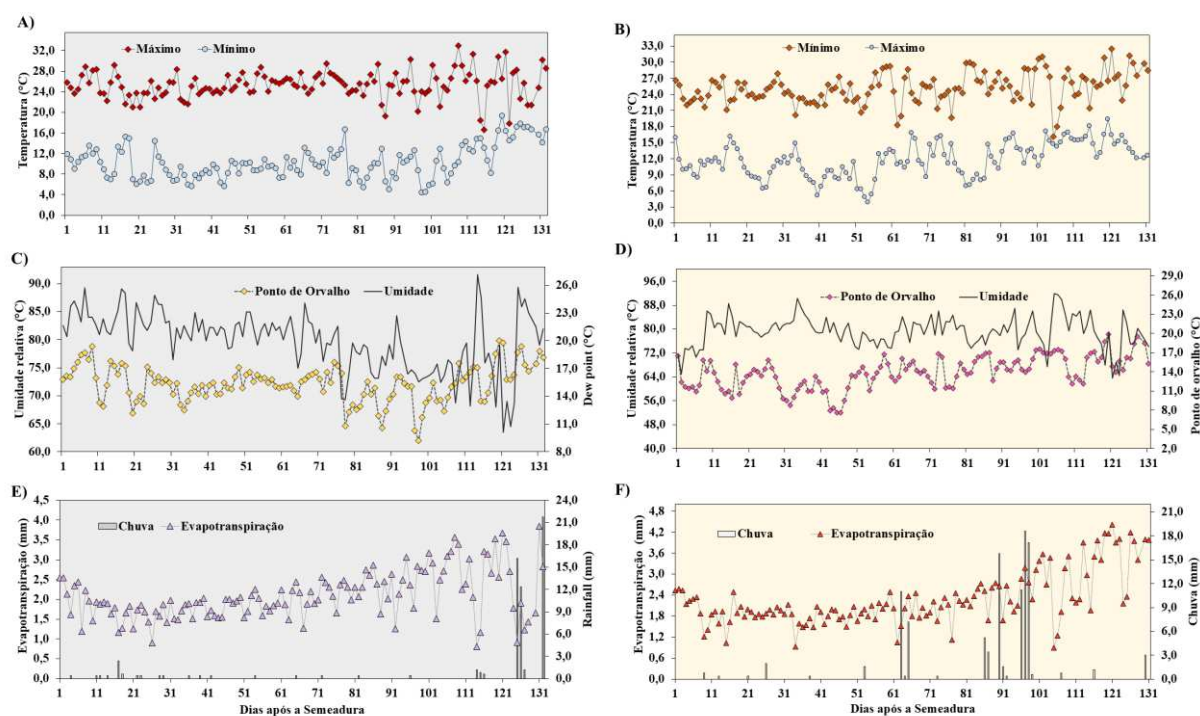
Tabela 2. Características físicas do solo na área experimental de Irrigação e Drenagem, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Ano	Prof. (cm)	Ds (g/cm <sup>3</sup> )	Textura (%)			θ <sub>FC</sub> (cm <sup>-3</sup> cm <sup>-3</sup> )	θ <sub>PW</sub> (cm <sup>-3</sup> cm <sup>-3</sup> )	
			Areia grossa	Areia fina	Silte			Argila
2022	0-20	1,07	25,40	10,40	13,90	50,30	0,41	0,21
	20-40	1,24	24,20	10,70	13,00	52,10	0,51	0,25
	40-60	1,34	23,20	11,10	13,00	52,70	0,5	0,25
2023	0-20	1,10	25,40	10,40	13,90	50,30	0,41	0,21
	20-40	1,19	24,20	10,70	13,00	52,10	0,49	0,24
	40-60	1,36	23,20	11,10	13,00	52,70	0,51	0,24

Legenda: Prof. é a profundidade usada nas avaliações; Ds é a densidade média do solo, θ<sub>FC</sub> é a capacidade do campo (-10 kPa), θ<sub>PW</sub> é o ponto de murcha permanente (-1500 kPa). Fonte: Autora (2024).

As temperaturas do ar variaram, com máximas de 33 °C (2022) e 32,50 °C (2023), e mínimas do ar atingindo 4,50 °C (2022) e 3,90 °C (2023). A umidade relativa média acompanhou essas variações, registrando 97,63% (2022) e 91,81% (2023). Em relação à precipitação total acumulada foi de 63,60mm (2022) e 103,6mm (2023). A evapotranspiração média diária foi de 2,46mm (2022) e 2,28mm (2023).

Figura 1 - Temperaturas máxima e mínima (°C) A (1° Ciclo) B (2° Ciclo), umidade relativa (%) e ponto de orvalho (°C) (C; D), precipitação pluviométrica acumulada (mm) e evapotranspiração (mm) (E e F) durante o período experimental em dias após a semeadura (DAS), nos dois anos de estudo



Fonte: Autora (2024).

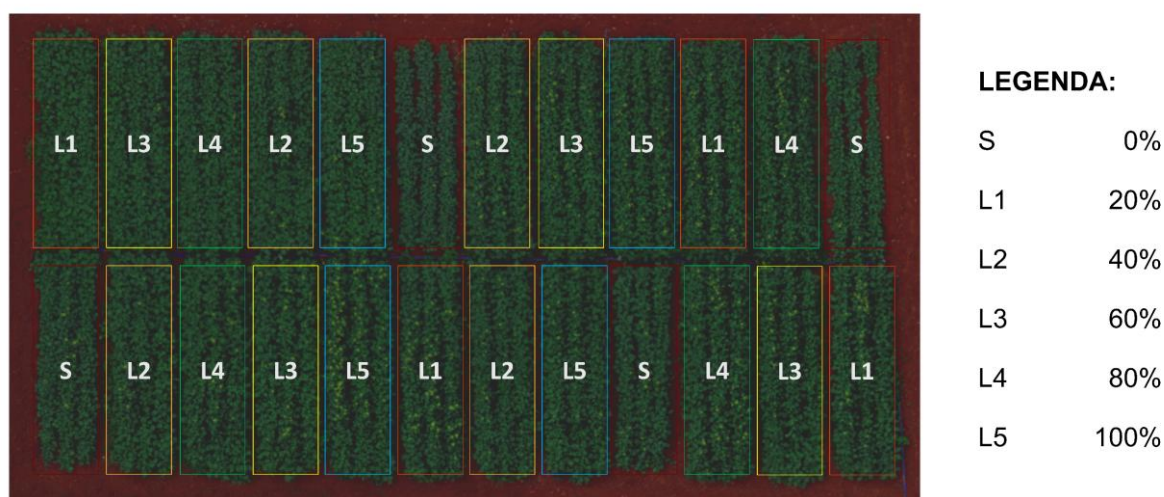
## 2.2. Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido seguindo um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as lâminas de irrigação: 0 (sem irrigação), 20, 40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura e nas subparcelas as épocas de avaliações das fases fenológicas E2 (40 dias após a germinação (DAG)), E3 (60 DAG), E4 (80 DAG), E5 (100 DAG) e E6 (125 DAG).

Para respeitar os princípios básicos da experimentação (repetição, casualização e controle local) utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições

(Figura 1). O experimento foi repetido em dois anos (2022 e 2023). Cada parcela experimental ( $7,5 \text{ m}^2$ ) foi constituída de três fileiras de plantas espaçadas a cada 0,5 m e 5,0 m de comprimento. Entre parcelas experimentais, deixou-se 1,0 m de distância, buscando reduzir a interferência dos tratamentos.

Figura 2 – Croqui referente as parcelas dos experimentos realizados nos anos de 2022 e 2023, na área experimental de irrigação e drenagem, pertencente ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG



Fonte: Autora (2024).

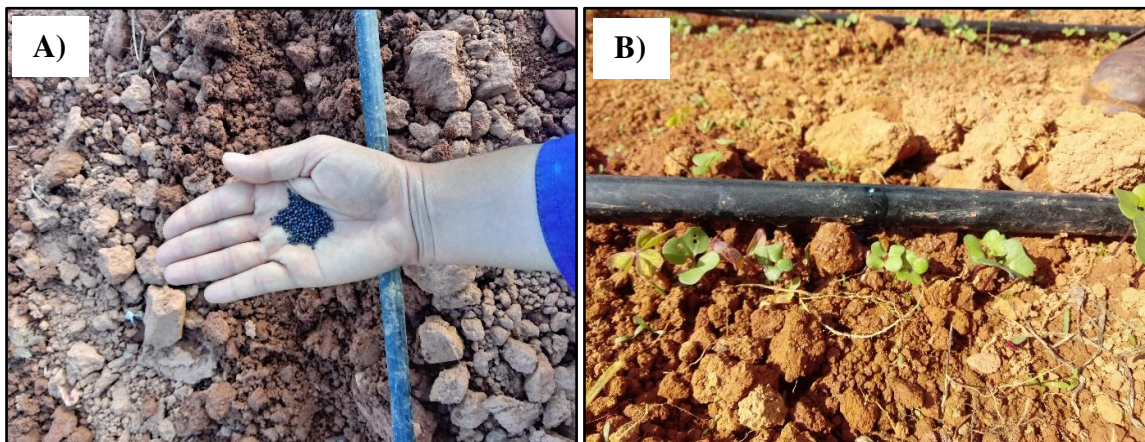
As avaliações foram conduzidas em cinco plantas de cada linha central da subparcela experimental. Os primeiros e últimos 0,50 metros de cada linha central foram designados como bordadura da parcela e não foram considerados para a análise.

### 2.3. Práticas agronômicas

A preparação do solo consistiu em uma aração e adubação sete dias antes da semeadura. O cálculo da adubação foi baseado na recomendação descrita por Ribeiro et al. (1999) e de acordo com a interpretação da análise química do solo (Tabela 1).

As sementes de canola (*Nuola 300*) foram semeadas à 0,01 m de profundidade em 26 de maio de 2022 e 15 de maio de 2023, em densidade de plantio de 25 plantas por  $\text{m}^2$  (Figura 3). A escolha da cultivar *Nuola 300* para o experimento baseou-se em sua alta produtividade (20% superior a outros híbridos), seu ciclo de cultivo médio e resistência à debulha durante a colheita (Nussed, 2022).

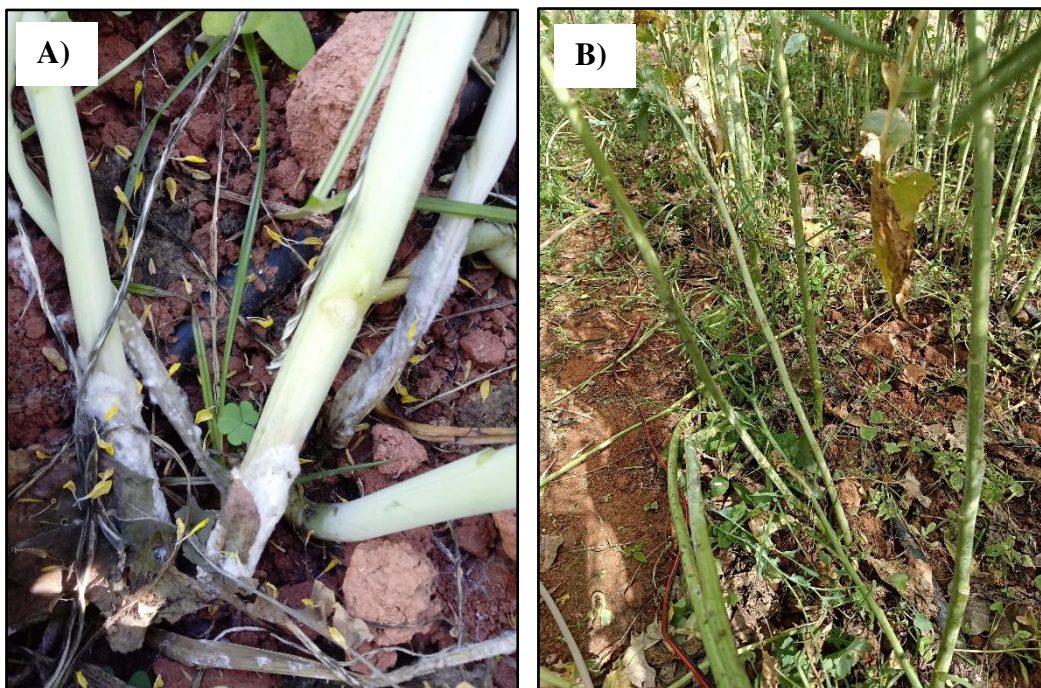
Figura 3– Semeadura (A) e Emergência (B) em experimentos com canola irrigada, na área experimental de irrigação e drenagem, pertencente ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG



Fonte: Autora (2024).

Plantas espontâneas foram controladas por capina manual. Em ambos os anos houve recorrência de vaquinhas (*Diabrotica speciosa* (Germ.)) na fase E1 (roseta). Para o controle populacional dos insetos foi realizado o controle físico. No 1º ciclo de cultivo (2022), na fase final do florescimento ocorreu incidência de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), para controle químico foi utilizado o *Truzon*. Nos dois anos, algumas plantas apresentaram tombamento na fase E5 (100 DAG) (Figura 4).

Figura 4 – Incidência de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary) (A) e tombamento de plantas (B) em experimentos com canola irrigada, na área experimental de irrigação e drenagem, pertencente ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG



Fonte: Autora (2024).

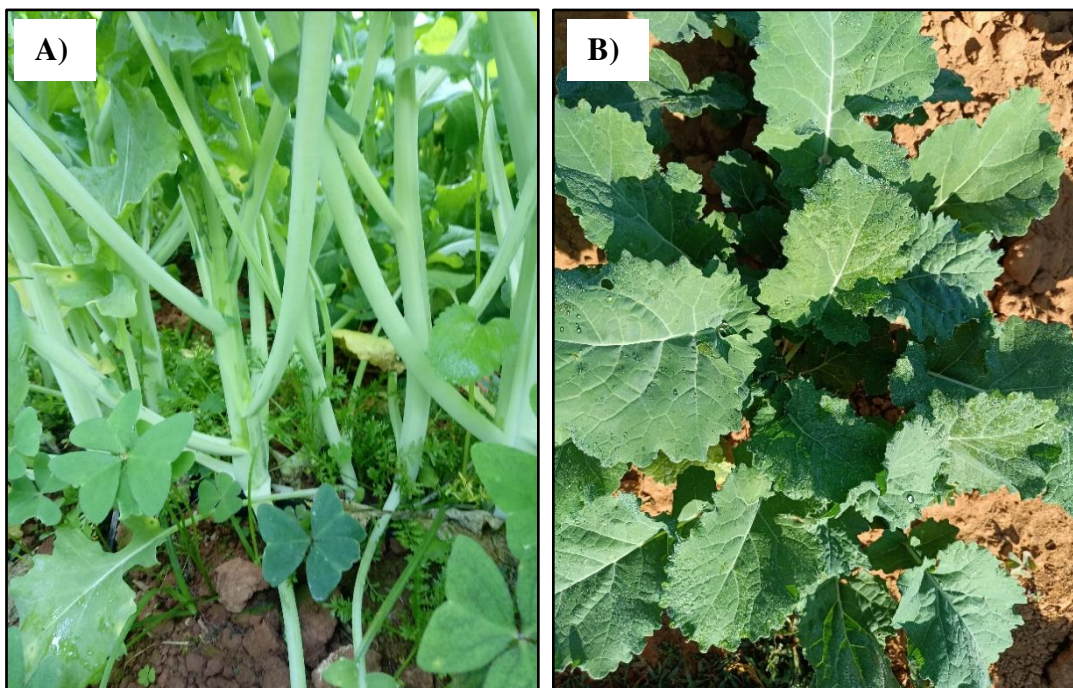
#### 2.4. Definição das fases fenológicas

O ciclo de desenvolvimento da canola é dividido em sete estágios fenológicos distintos, são eles: germinação e emergência de plântulas (Estágio 0), produção das folhas (E1), alongamento da haste principal (E2), desenvolvimento dos botões florais (E3), florescimento pleno (E4), desenvolvimento das siliquis e enchimento das sementes (E5) e maturação das sementes (E6) (Guimarães et al., 2022).

Com o objetivo de caracterizar o comportamento da cultura, realizaram-se avaliações nas fases fenológicas E2 (40 dias após a germinação - DAG), E3 (60 DAG), E4 (80 DAG), E5 (100 DAG) e E6 (125 DAG)

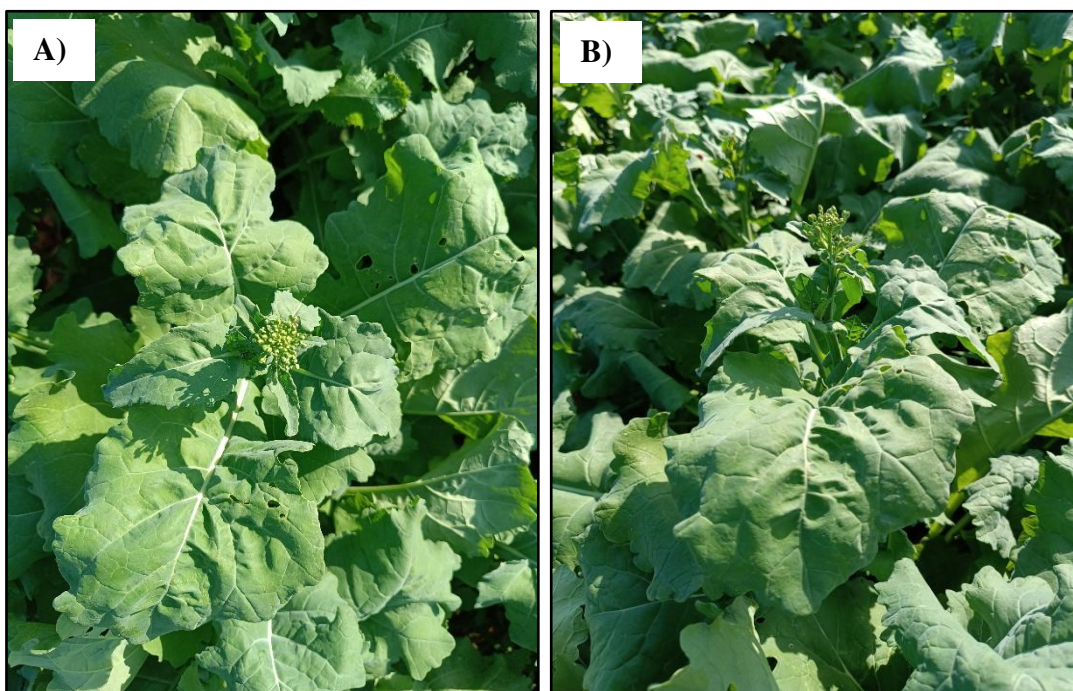
As avaliações em E2 (40 DAG) ocorreram quando a planta tinha de oito a nove folhas completamente expandidas (Figura 5). A fase E3 (60 DAG) foi avaliada quando houve a emissão dos botões florais em 50% das plantas (Figura 6). O florescimento pleno (E4), aos 80 DAG, foi constatado quando 50% das inflorescências estavam abertas em todo o experimento (Figura 7). Posteriormente, as plantas foram avaliadas em E5, quando as siliquis atingiram aproximadamente 2 cm (100 DAG) (Figura 8). Por fim, quando 50% das siliquis localizada no terço médio da haste principal apresentavam-se em coloração marrom-escura (Rivelli et al., 2024).

Figura 5 – Estágio fenológico referente ao alongamento da haste principal (E2), aos 40 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Registro das plantas com caule alongado (A) e com oito a nove folhas completamente expandidas (B)



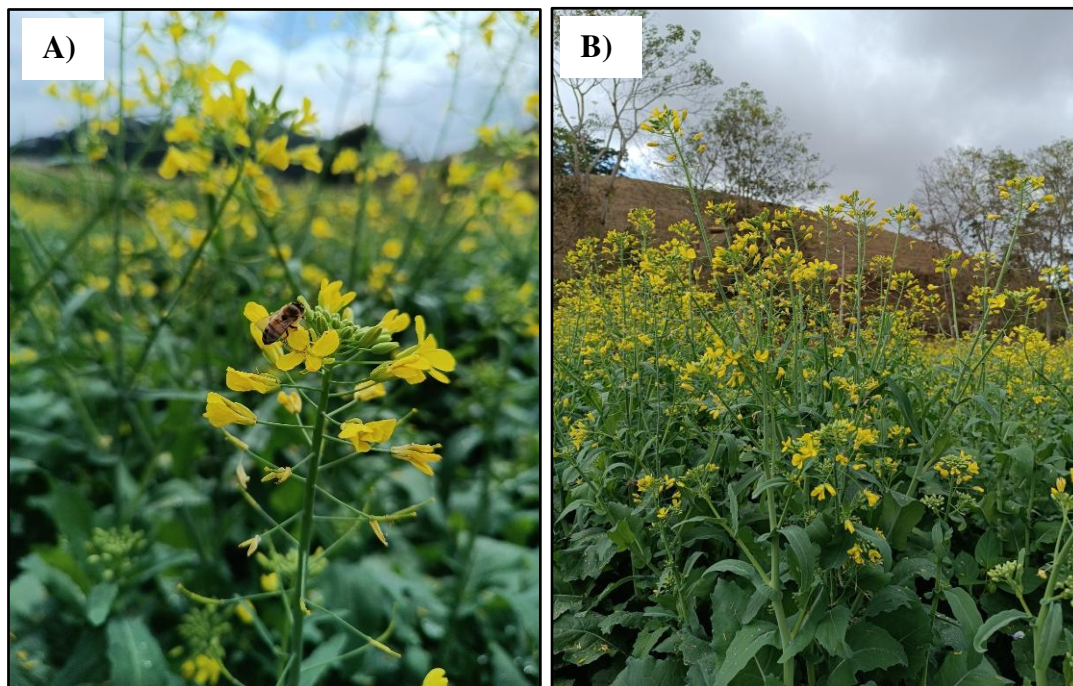
Fonte: Autora (2024).

Figura 6 – Estágio fenológico referente ao desenvolvimento dos botões florais (E3), aos 60 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Botão floral com vista superior (A) e vista lateral (B)



Fonte: Autora (2024).

Figura 7 – Estágio fenológico referente ao desenvolvimento dos botões florais (E3), aos 80 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Detalhe da inflorescência (A) e campo florido de canolas (B)



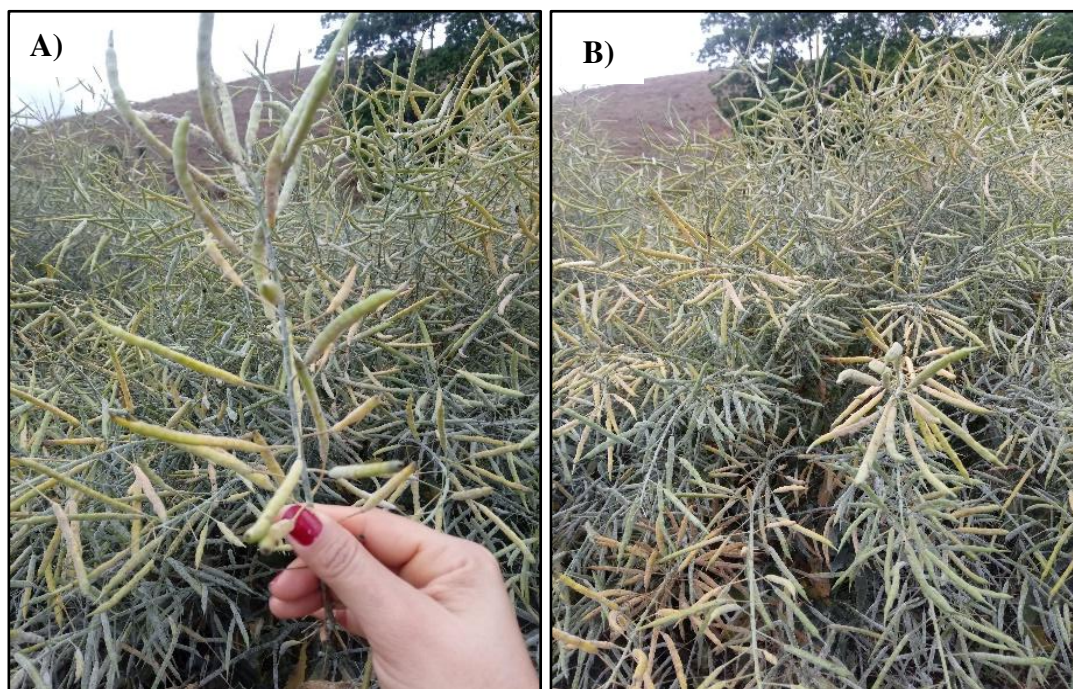
Fonte: Autora (2024).

Figura 8– Estágio fenológico referente ao desenvolvimento das síliquas e enchimento das sementes (E5), aos 100 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Detalhe das síliquas (A) e campo com síliquas de canolas (B)



Fonte: Autora (2024).

Figura 9 – Estágio fenológico referente a maturação das sementes (E6), aos 125 dias após a germinação (DAG), em experimentos com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. sob lâminas de irrigação. Detalhe das síliquis secas (A) e campo com síliquis secas de canolas (B)



Fonte: Autora (2024).

## 2.5. Manejo e sistema de irrigação

Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento superficial, com fitas gotejadoras cujos emissores espaçavam-se a cada 0,20 m com vazão média de  $2,48 \text{ L h}^{-1}$  na pressão operacional de 10 mca. Uma fita de gotejamento foi alocada em cada fileira de plantas.

O manejo da irrigação foi baseado na evapotranspiração diária da cultura ( $ET_c$ ). Os valores da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) foram calculados pela equação de Penman–Monteith a partir dos dados de uma estação meteorológica automática completa presente na área experimental.

Foi considerado o coeficiente de cultura  $K_c$  descrito em Pereira et al. (2021), a saber: 0,35  $K_c$  inicial (cerca de 15 dias), 1,15 fase intermediária (cerca de 30 dias), e 0,55 fase final (cerca de 15 dias). O coeficiente de localização ( $K_L$ ) foi calculado conforme a metodologia de descrita em Mantovani et al. (2009) para sementes. O coeficiente de estresse hídrico ( $K_s$ ) foi considerado como 1,0. A irrigação foi realizada a cada dois dias.

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_s \times K_L \quad (1)$$

Onde:  $ET_c$  é a evapotranspiração da cultura, mm;  $K_c$  é o coeficiente de cultura, adm;  $K_s$  é coeficiente de estresse hídrico, adm;  $K_L$  coeficiente de localização, adm.

A irrigação total necessária (ITN), calculada pela equação 2, representa a quantidade de água necessária para a planta corrigida pela eficiência de aplicação ( $E_a$ ), que estima as perdas por evaporação, arraste, percolação e erros de distribuição (uniformidade), foi utilizado o valor 95 % descrito em Mantovani et al. (2009) para sistemas de irrigação localizado.

$$ITN = \frac{ET_c}{E_a} \quad (2)$$

Onde: LB é a lâmina bruta de irrigação, mm;  $E_a$  é a eficiência de aplicação do sistema de irrigação, %.

Foram feitas irrigações de pré-plantio até atingir a capacidade de campo. Para garantir a germinação e estabelecimento da cultura foram aplicados 13,0 mm (2022) e 14,0 mm (2023) de água pelo sistema de irrigação durante os 15 primeiros dias após a semeadura (DAS), para a irrigação foi considerado o cálculo diário da Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). Posteriormente, em 15 de junho 2022 e 04 de junho 2023 iniciou-se o manejo de irrigação. O período de manejo da irrigação ocorreu durante 103 dias (2022) e 109 dias (2023), sendo finalizado em 26 de setembro 2022 e 21 de setembro 2023, sete dias antes da colheita final.

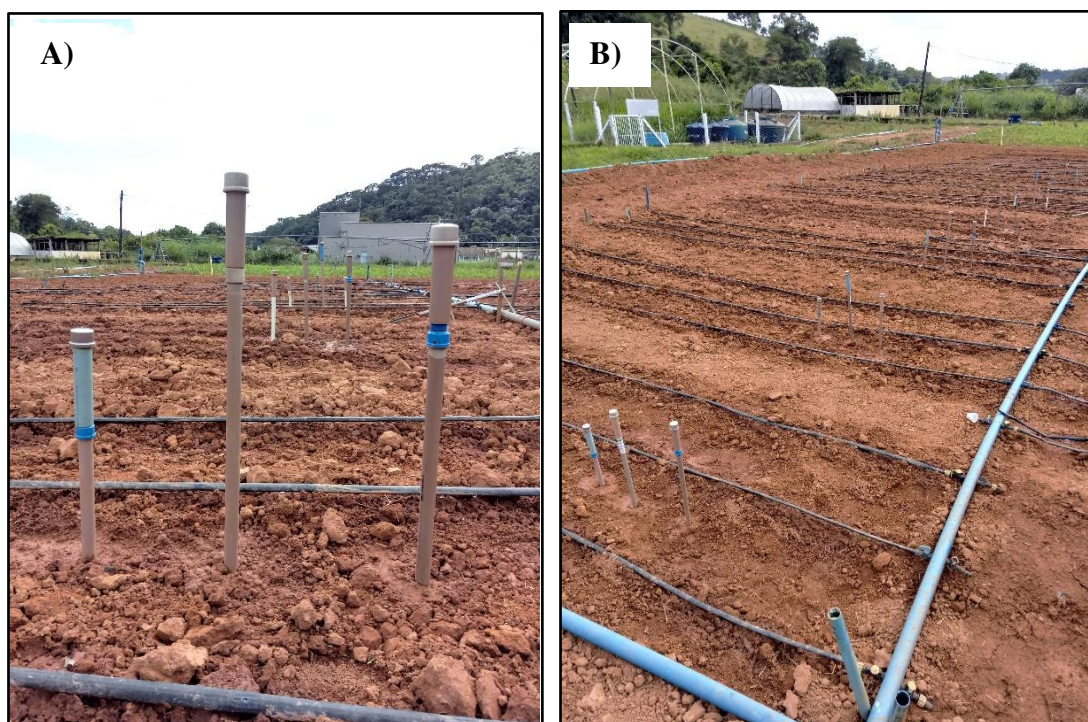
O cálculo da utilização hídrica de cada tratamento foi obtido a partir da soma da lâmina de irrigação aplicada (mm), a lâmina de estabelecimento da cultura (mm) e a precipitação efetiva (mm). Os valores de precipitação efetiva foram estimados pela diferença entre a precipitação pluviométrica e o conteúdo atual de água no solo.

## 2.6. Conteúdo atual de água no solo

Para estimar o conteúdo atual de água no solo foram instalados três tensiômetros em cada tratamento, com duas repetições, nas profundidades de 0 a 20 m, 0 a 40 m e 0 a 60 m (Figura 10). As leituras dos tensiômetros foram realizadas, antes da irrigação, com o auxílio de um tensímetro digital entre 9:00 e 10:00 horas. A leitura de tensão dos

tensiômetros foi convertida em umidade do solo por meio da curva de retenção de água do solo, obtida pelo método da câmara de Richards. O modelo de van Genuchten (Genuchten V M, 1980) foi adotado, considerando as características hidráulicas do solo apresentadas na tabela 2. Para visualização e discussão, a variação na umidade do solo foi quantificada na escala temporal do experimento e apresentada nos resultados.

Figura 10 – Tensiômetros instalados no experimento com canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) sob lâminas de irrigação. Detalhe dos tensiômetros (A) e vista dos tensiômetros nos tratamentos (B)



Fonte: Autora (2024).

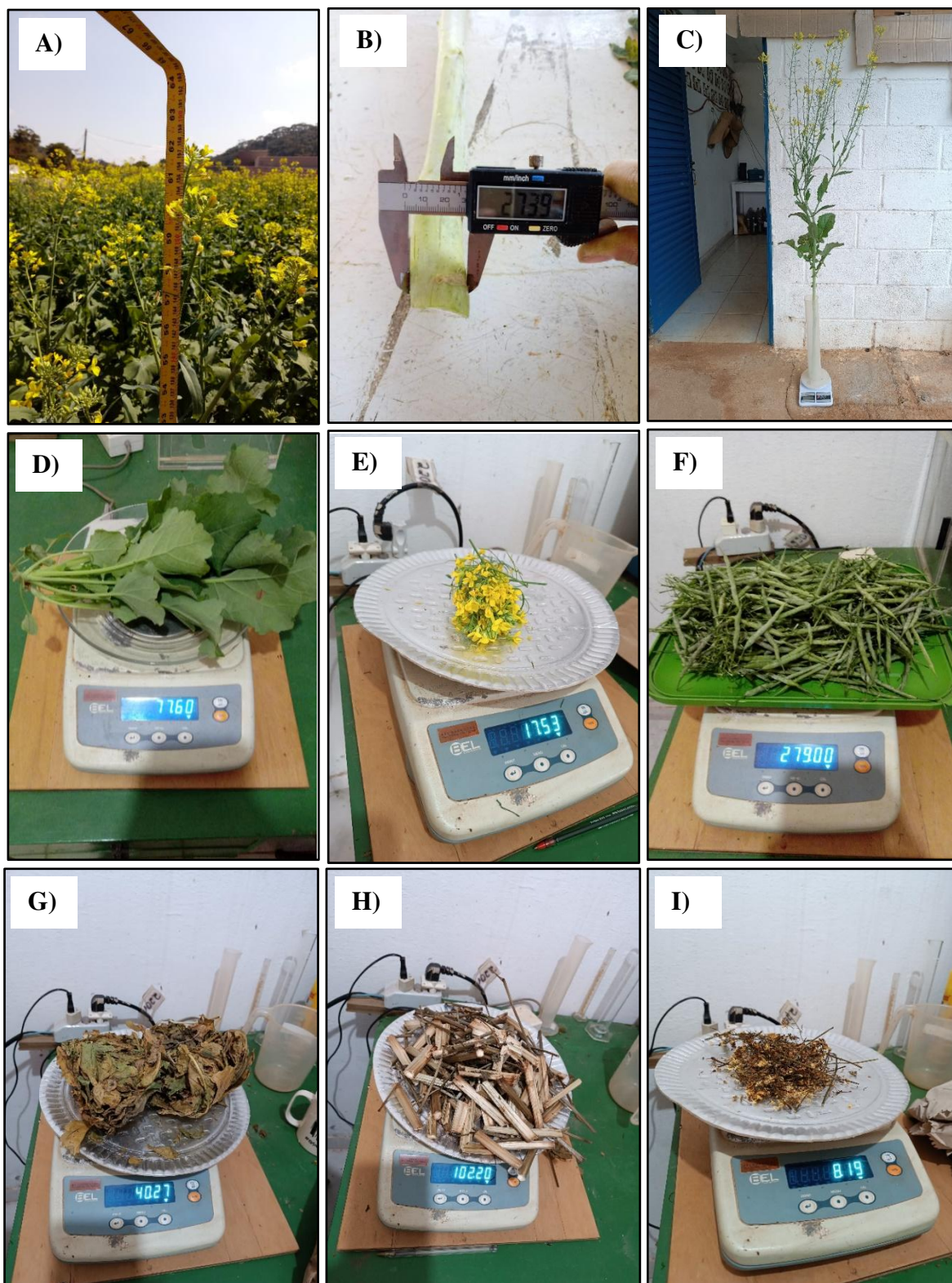
## 2.7. Variáveis morfofisiológicas avaliadas

As avaliações foram realizadas nas cinco plantas de cada linha central da subparcela experimental. Foram realizadas as avaliações de: Altura das plantas (H) e diâmetro do caule (D). A altura das plantas (cm) foi medida do solo até a gema apical com uma trena milimetrada. O diâmetro do caule (mm) foi medido com um paquímetro digital entre a primeira e segunda folha acima do solo (Figura 11).

Posteriormente, em cada ocasião, as plantas foram colhidas e realizadas as mensurações de biomassa fresca total (BMT) e, subsequentemente, as pesagens isoladas da biomassa fresca das folhas (BMF), do caule (BMC), e quando desenvolvidas, as

inflorescências (BMI) e siliquis (BMS). Para as mensurações de biomassas utilizou-se uma balança digital analítica com resolução de 0,01 g ( $\pm 0,005$  g) (Figura 11).

Figura 11 – Avaliações de altura (A), diâmetro do caule (B), peso fresco total da cultura (C), peso fresco das folhas (D), peso fresco das inflorescências (E), peso fresco das siliquis (F), peso seco das folhas (G), peso seco do caule (H) e peso seco das inflorescências (I) das plantas de canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) cultivada sob lâminas de irrigação



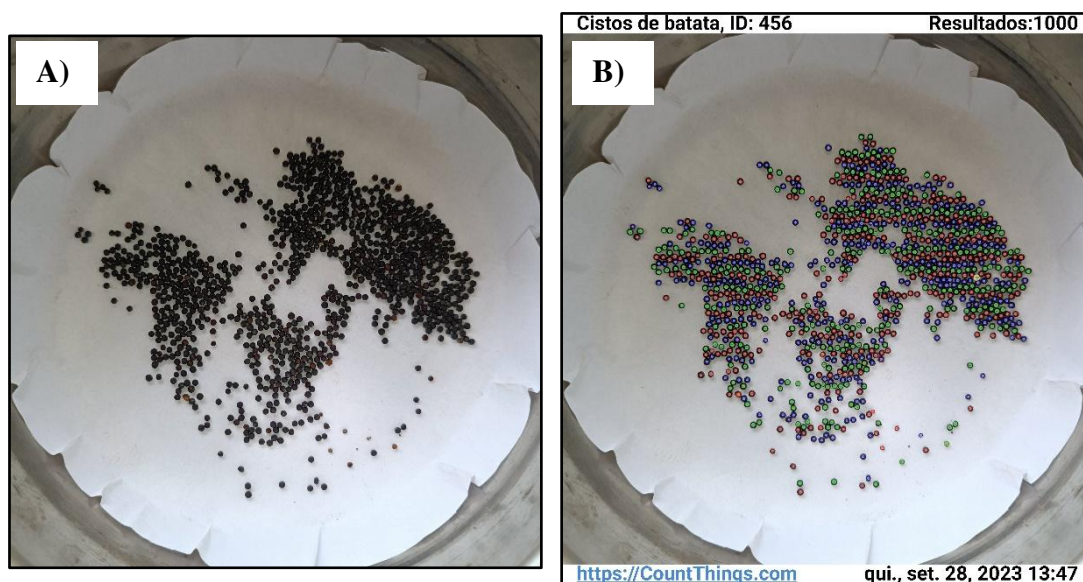
Fonte: Autora (2024).

A biomassa das inflorescências (BMI) foi determinada somente na condição de pleno florescimento (80 DAG) e as siliquis (BMS) foram mensuradas quando a cultura estava com 100 DAG (Figura 11).

Para a obtenção da massa seca das folhas (BMSF), caule (BMSC), inflorescências (BMSI) e siliquis (BMSS), as amostras foram em estufa de circulação de ar forçado secas a 65 °C por 72 h (Figura 11).

Na maturidade, aos 125DAG, as plantas de canola foram colhidas quando 60 a 80% das sementes das siliquis localizadas na parte central do caule apresentaram variação entre a cor verde e marrom. Quando o teor de umidade estava entre 10% e 12%, para cada tratamento, as vagens de canola e as sementes foram separadas manualmente e, subsequentemente, pesadas quanto ao rendimento das plantas e de 1000 sementes. Para a contagem de 1000 sementes foi utilizado o aplicativo para sistemas Android *CountThings* na configuração para cisto de batatas, pois foi a mais efetiva após calibração com contagem manual (Figura 12).

Figura 12– Separação das sementes de canola (*Brassica napus* L. var. oleifera) do tratamento de 100% da Evapotranspiração da Cultura (ETc) (A) e contagem das sementes pelo aplicativo *CountThings* (B)



Fonte: Autora (2024).

## 2.8. Análise estatística

Os dados foram analisados por meio da metodologia de superfície de resposta. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” e o teste “F” ao nível de 5% de probabilidade, e para o ajuste do modelo foi considerado o coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{SQ Regressão} / \text{SQ Trat}$ ) no fenômeno em estudo. Para as análises de BMI, BMS, BMIS, BMSS e Peso de 1000 sementes realizou-se à análise de variância e de regressão com teste “F” ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram executadas com o software R e o pacote experimental Designer.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Utilização de água da canola

A tabela 3 apresenta a utilização de água total da cultura da canola ao longo dos dois anos de cultivo. Em média, a demanda de água da canola foi de 207 mm (1° ciclo) e 240 mm (2° ciclo) quando considerada o volume hídrico para que o solo permanecesse na capacidade de campo durante toda fase fenológica (ETc de 100% + precipitação efetiva + lâmina de estabelecimento).

Tabela 3. Quantidade total de irrigação aplicada à cultura da canola (mm), irrigação de estabelecimento da cultura (mm) e precipitação efetiva (mm) durante os ciclos de 2022 e 2023.

1° CICLO (2022)	0%	20%	40%	60%	80%	100%
	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc
Irrigação aplicada (mm)	0,00	38,12	76,24	114,36	152,48	190,61
Irrigação de estabelecimento (mm)	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Precipitação efetiva (mm)	11,20	6,60	6,27	6,58	6,43	3,44
Total de água consumida (mm)	24,20	57,72	95,51	133,95	171,91	207,05
2° CICLO (2023)	0%	20%	40%	60%	80%	100%
	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc
Irrigação aplicada (mm)	0,00	43,73	87,46	131,20	174,92	218,66
Irrigação de estabelecimento (mm)	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Precipitação efetiva (mm)	30,67	25,13	20,90	17,34	13,86	8,31
Total de água consumida (mm)	44,46	82,86	122,36	162,54	202,78	240,97
Média total nos ciclos	34,44	70,29	108,93	148,24	187,34	224,01

Fonte: Autora (2024).

As precipitações efetivas em 2023 foram maiores do que no ano de 2022, o que contribuiu para o maior abastecimento hídrico no solo, possibilitando um maior fornecimento hídrico às plantas dos tratamentos com maior restrição de água. Contudo, as evapotranspirações da cultura foram estimadas em 2023, com máxima de 4,41 mm dia<sup>-1</sup> (Figura 1F).

## **3.2 Variáveis morfológicas avaliadas**

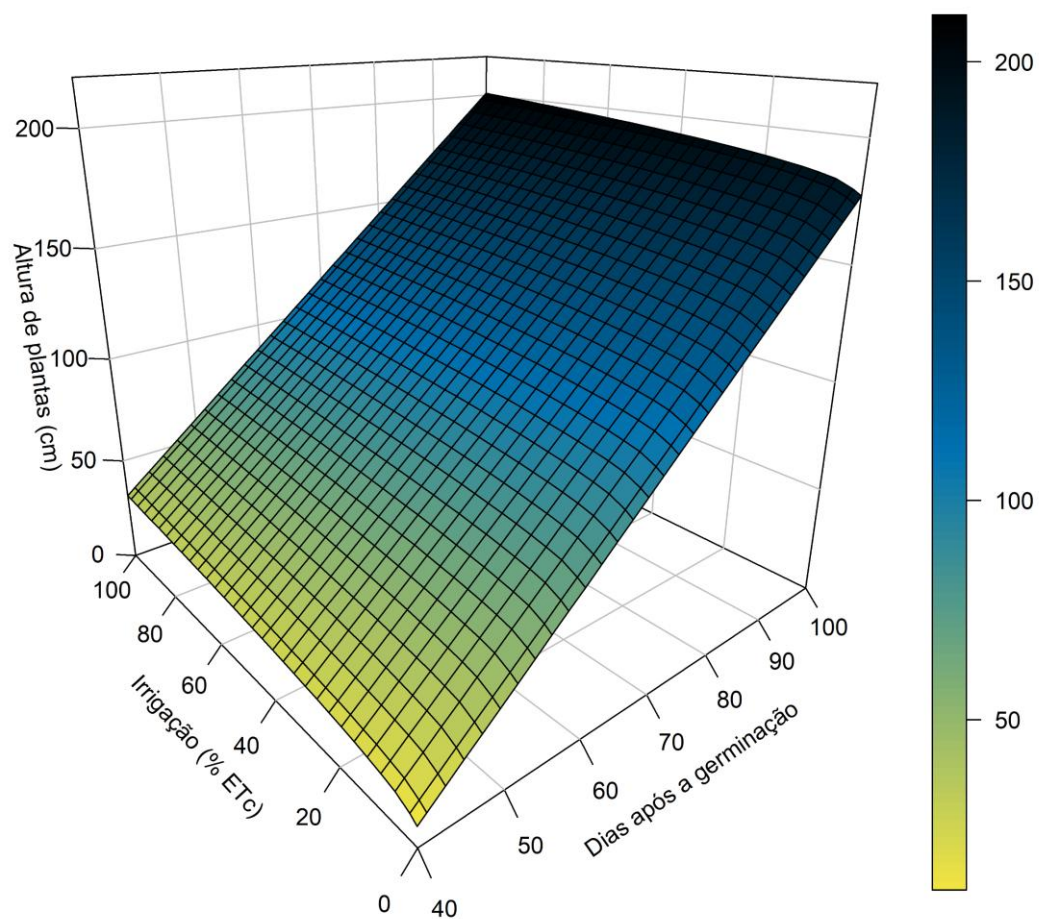
### **3.2.1 Altura das plantas**

Houve interação significativa das lâminas de irrigação e fases fenológicas na altura das plantas (H) ( $P < 0,01$ ). Nos 1° e 2° Ciclos, a análise detalhada desse fenômeno revelou que o fator irrigação não teve um efeito significativo no estágio E2, aos 40 DAG e E5, aos 100 DAG ( $P < 0,05$ ), indicando que as médias são estatisticamente iguais. No entanto, ao examinar as fases fenológicas dentro de cada lâmina, todas apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $P < 0,01$ ) nos dois anos de estudo.

Aos 60 DAG, período marcado pelo alongamento do caule, observou-se um aumento progressivo na altura das plantas com cada incremento no nível de irrigação. No 1° Ciclo de cultivo, a altura das plantas aumentou em 15,95% quando cultivada sob 20% ETc (75,5 cm) se comparada ao cultivo sem irrigação (65,1 cm). A altura máxima das plantas (88,0 cm) ocorreu com a irrigação de 100% ETc (Figura 13). No 2° Ciclo, verificou-se um comportamento semelhante, com aumentos de 23% na altura em relação ao cultivo sem irrigação (70,6 cm). A altura máxima foi de 108,1 cm com irrigação plena (100% ETc) (Figura 14).

Na condição de pleno florescimento (80 DAG), no 1° Ciclo, a altura das plantas apresentou incrementos estáveis de 9,0%, 3,0%, 2,0%, 2,0% e 2,0% à medida que se aumenta a lâmina de irrigação. No 2° Ciclo, a altura das plantas seguiu uma tendência semelhante, com incrementos de 14,0%, 5,0%, 4,0%, 3,0% e 3,0%.

Figura 13 - Valores médios para a altura de planta (cm) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022).

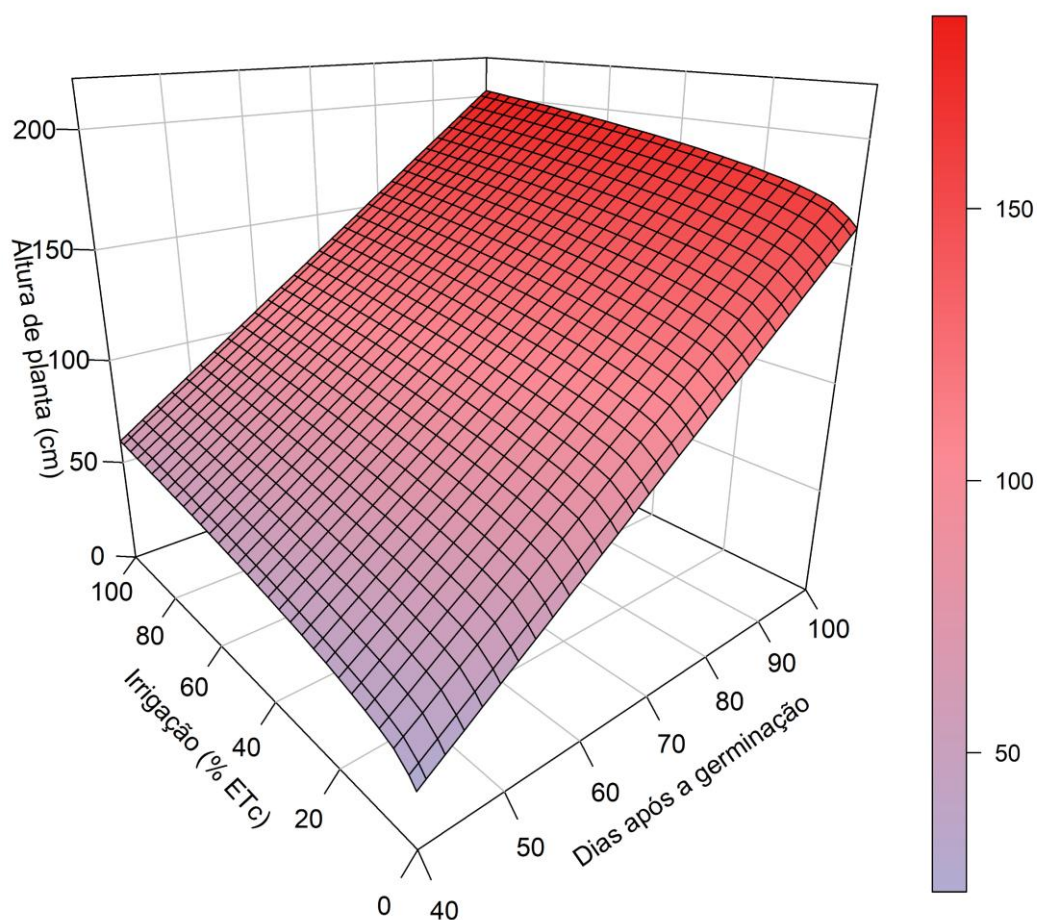


$$\hat{H} = -103,75 + 2,81 \times DAG + 2,32\sqrt{I}$$

$$R^2 = 0,93$$

Fonte: Autora (2024).

Figura 14 - Valores médios para a altura de planta (cm) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023).



$$\hat{H} = -71,4196 + 2,368 \times DAG + 3,7475\sqrt{I}$$

$$R^2 = 0,92$$

Fonte: Autora (2024).

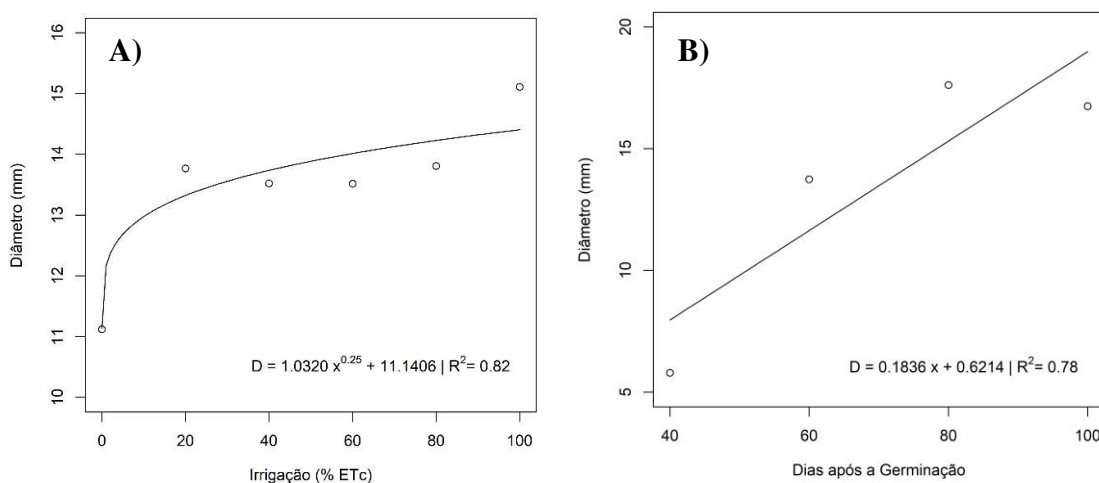
### 3.2.2 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule da canola não sofreu interação significativa entre as lâminas de irrigação e fases fenológicas em nenhum dos anos estudados ( $P > 0,05$ ). Dessa forma, os fatores foram avaliados de forma isolada para os dois anos de estudo.

No 1º Ciclo (2022), a irrigação teve um impacto significativo no diâmetro do caule ( $P < 0,01$ ), com incrementos de 19,6%, 3,1%, 2,0%, 1,5% e 1,2% à medida que aumenta a lâmina de irrigação (Figura 15). No 2º Ciclo (2023), o diâmetro do caule também

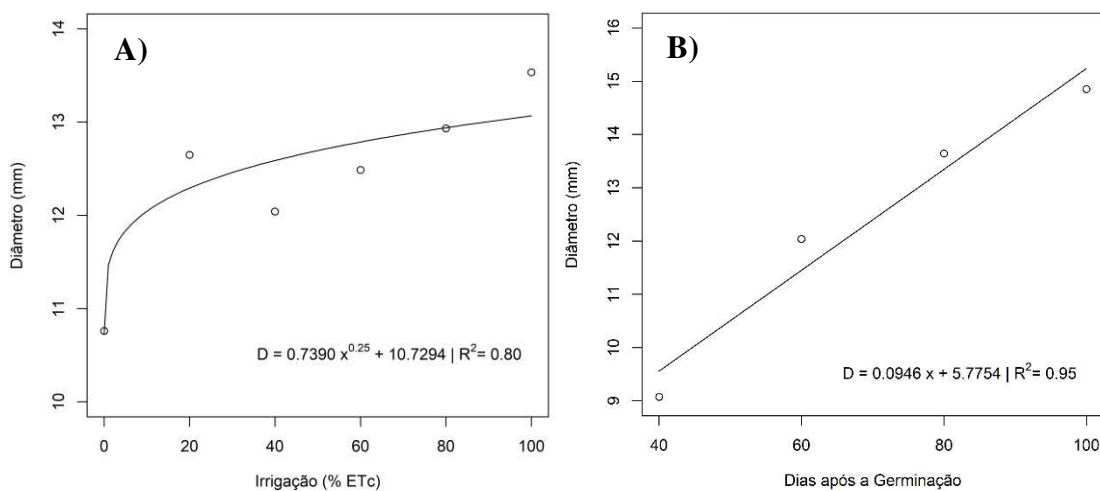
apresentou resposta significativa no fator estudado ( $P < 0,01$ ), em que os aumentos no diâmetro do caule refletiram-se em 14,6%, 2,4%, 1,6%, 1,2% e 1,0% (Figura 16).

Figura 15 - Valores médios para a diâmetro da haste da canola, cv. *Nuola 300*, sob lâminas de irrigação (A) e em relação aos dias após a germinação (B), no 1º Ciclo de cultivo (2022)



Fonte: Autora (2024).

Figura 16 - Valores médios para a diâmetro da haste da canola, cv. *Nuola 300*, sob lâminas de irrigação (A) e em relação aos dias após a germinação (B).



Fonte: Autora (2024).

Nas fases fenológicas, o diâmetro do caule (mm) apresentou diferenças significativas em ambos os ciclos estudados ( $P < 0,01$ ). No 1º ciclo, a equação de ajuste revela um aumento de 3,7 (Figura 15) com incremento das fases. Aos 100 DAG, foi mensurado o maior diâmetro do caule (19,0 mm). Enquanto no 2º Ciclo o aumento foi de 1,9 para cada incremento nas fases (Figura 16) e o maior acúmulo foi registrado no uso da lâmina plena (100% ETc), com valor de 15,2 mm.

### 3.2.3 Biomassa total

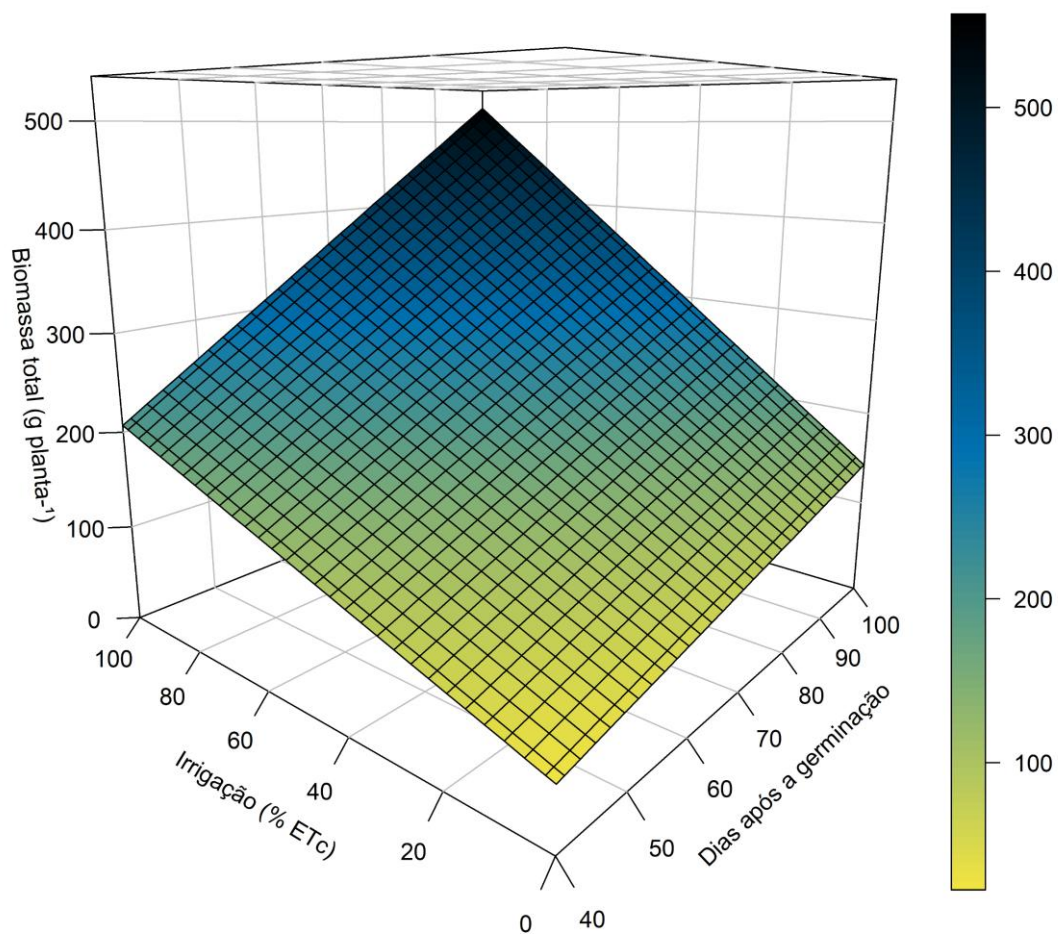
Para a biomassa total (BMT) houve interação significativa entre as lâminas de irrigação e as épocas fenológicas avaliadas ( $P < 0,01$ ), nos dois anos de cultivo.

No 1º e 2º Ciclo à análise de desdobramento desse fenômeno revelou que o fator irrigação somente não exerceu efeito significativo no estágio E2, 40 DAG ( $P < 0,05$ ), em que as médias são estatisticamente iguais. Contudo, ao explorar as fases fenológicas dentro de cada lâmina, todas exibiram diferenças estatisticamente significativas ( $P < 0,01$ ) (Figura 17 e 18).

Aos 60 DAG (marcado pelo alongamento do caule), observou-se que a BMT, no 1º ciclo de cultivo aumentou em 45 %, atingindo a máxima BMT ( $310,76 \text{ g planta}^{-1}$ ) na irrigação plena (100% ETc) (Figura 17). No 2º ciclo, foi verificado um comportamento semelhante, com aumento de aproximadamente 30 % com BMT máxima ( $238,5 \text{ g planta}^{-1}$ ) na irrigação plena (100% ETc) (Figura 18).

Na fase E4 (80 DAG), no 1º ciclo, a BMT teve um aumento de 60, atingindo o máximo acúmulo de biomassa ( $414,1 \text{ g planta}^{-1}$ ) na irrigação plena (100% ETc) (Figura 17). Enquanto no 2º ciclo, a BMT na fase E4, apresentou aumento de aproximadamente 40 com BMT máxima ( $318,0 \text{ g planta}^{-1}$ ) na irrigação plena (100% ETc) (Figura 18).

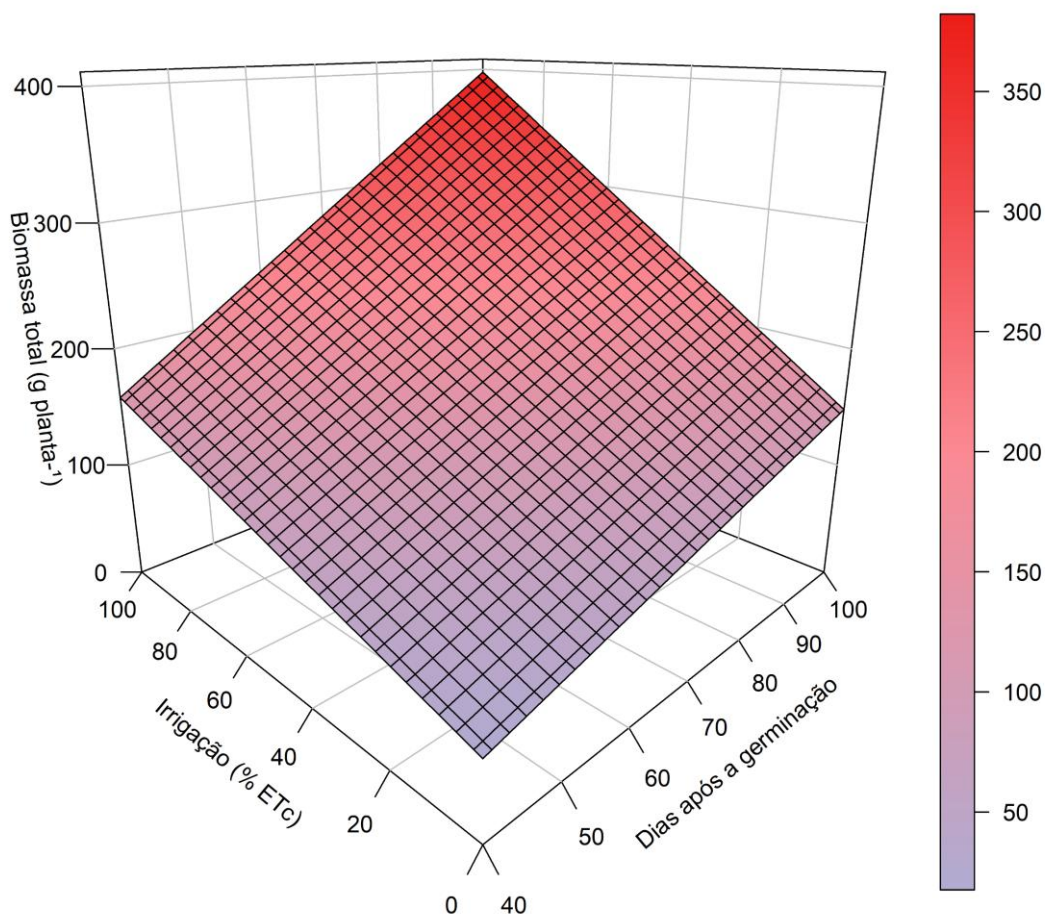
Figura 17 - Valores médios para biomassa total da canola (BMT), cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022).



$$\widehat{BMT} = 1,4300 \times DAG + 0,0375 \times DAG \times I \quad R^2 = 0,93$$

Fonte: Autora (2024).

Figura 18 - Valores médios para biomassa total da canola (BMT), cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023).



$$\widehat{BMT} = 1,48731 \times DAG + 0,02487 \times DAG \times I \quad R^2 = 0,95$$

Fonte: Autora (2024).

No 1º ciclo (2022), a equação ajustada da BMT indicou o pico de acúmulo de biomassa no estágio E5 (100 DAG), quando irrigada com 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) (Figura 17). Nessa condição, a BMT total foi de 518 g planta<sup>-1</sup> (1º Ciclo), o que representa um aumento de 262% em comparação com a cultura não irrigada (143,0 g planta<sup>-1</sup>; 1º Ciclo). No 2º ciclo (2022), a interação entre as variáveis indicou que quando irrigada com 100% ETc no estágio E5, tem-se um aumento de 167% em comparação com a cultura não irrigada (148,3 g planta<sup>-1</sup>; 2º Ciclo). Isso significa que a cultura

adequadamente irrigada, nos dois anos, produziu mais do que o dobro da biomassa da cultura não irrigada na mesma área (Figura 17 e Figura 18).

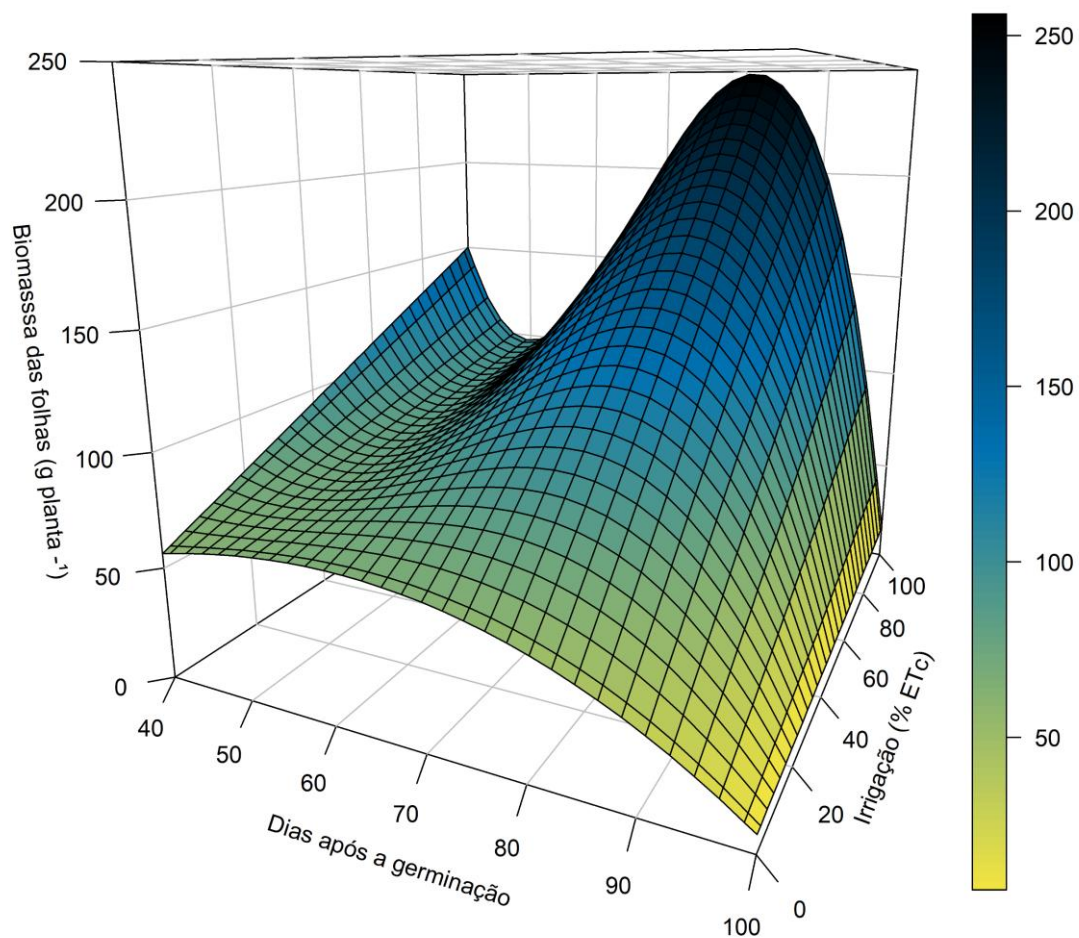
### 3.2.4 Biomassa das Folhas

A biomassa das folhas (BMF) apresentou resposta significativa quando submetida a diferentes lâminas de irrigação em diferentes fases fenológicas ( $P < 0,01$ ). Enquanto a biomassa seca das folhas (BMSF) não demonstrou uma resposta estatisticamente significativa para os fatores estudados até 5% de probabilidade de erro.

Ao estudar o desdobramento do fenômeno de interação no 1° e 2° Ciclo observou-se que o fator irrigação não exerceu efeito significativo no estágio E5 (100 DAG) ( $P < 0,05$ ), em que as médias são estatisticamente iguais. Contudo, ao explorar as fases fenológicas dentro de cada lâmina, todas exibiram diferenças estatisticamente significativas ( $P < 0,05$ ) (Figura 19 e 20).

Ao analisar a equação da BMF, no 1° Ciclo, nota-se que no estágio E4 (80 DAG), a cultura atingiu o pico de acúmulo de biomassa nas folhas ao ser irrigada a 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), totalizando 248,5 g por planta. Esse valor representa um aumento de 379% em comparação com a cultura não irrigada, que registrou 51,8 g por planta (Figura 9). Enquanto no 2° Ciclo, o maior acúmulo de BMF foi 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), aos 60 DAG, totalizando 117,1 g por planta. Comparando esse resultado alcançado com a cultura não irrigada (9,2 g por planta), teve-se um aumento de 117%.

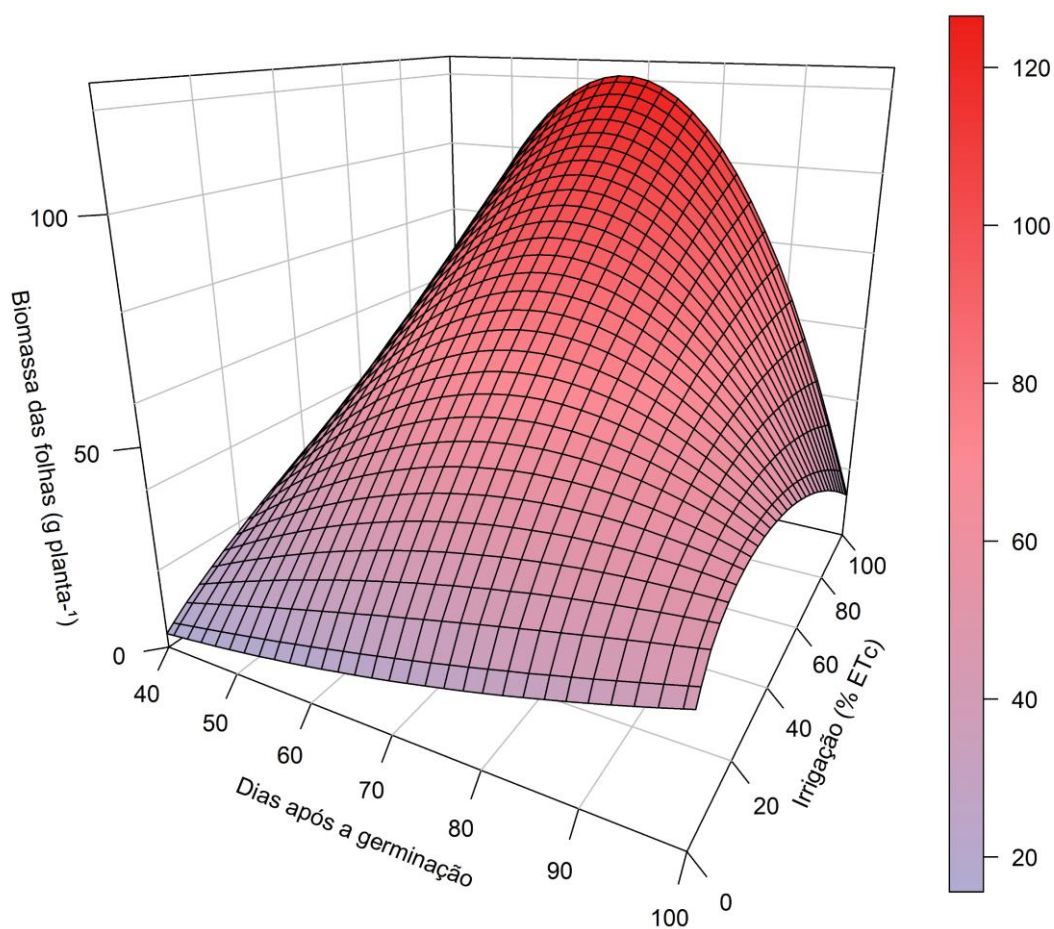
Figura 19 - Valores médios para a biomassa das folhas ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1° Ciclo de cultivo (2022).



$$\widehat{BMF} = 1,6653DAG + 24,7125I - 0,00016DAG^3 + 0,0194DAG^2 \times I - 1,2170 DAG \times I - 0,000097 DAG^3 \times I \quad R^2 = 0,95$$

Fonte: Autora (2024).

Figura 20 - Valores médios para a biomassa das folhas ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023).



$$\widehat{BMF} = 0,000746 \times DAG^{2,3} - 3,298862 \times I^{0,93} - 0,00018466 \times DAG^{2,3} \times I + 0,132059 \times DAG \times I^{0,93} \quad R^2 = 0,94$$

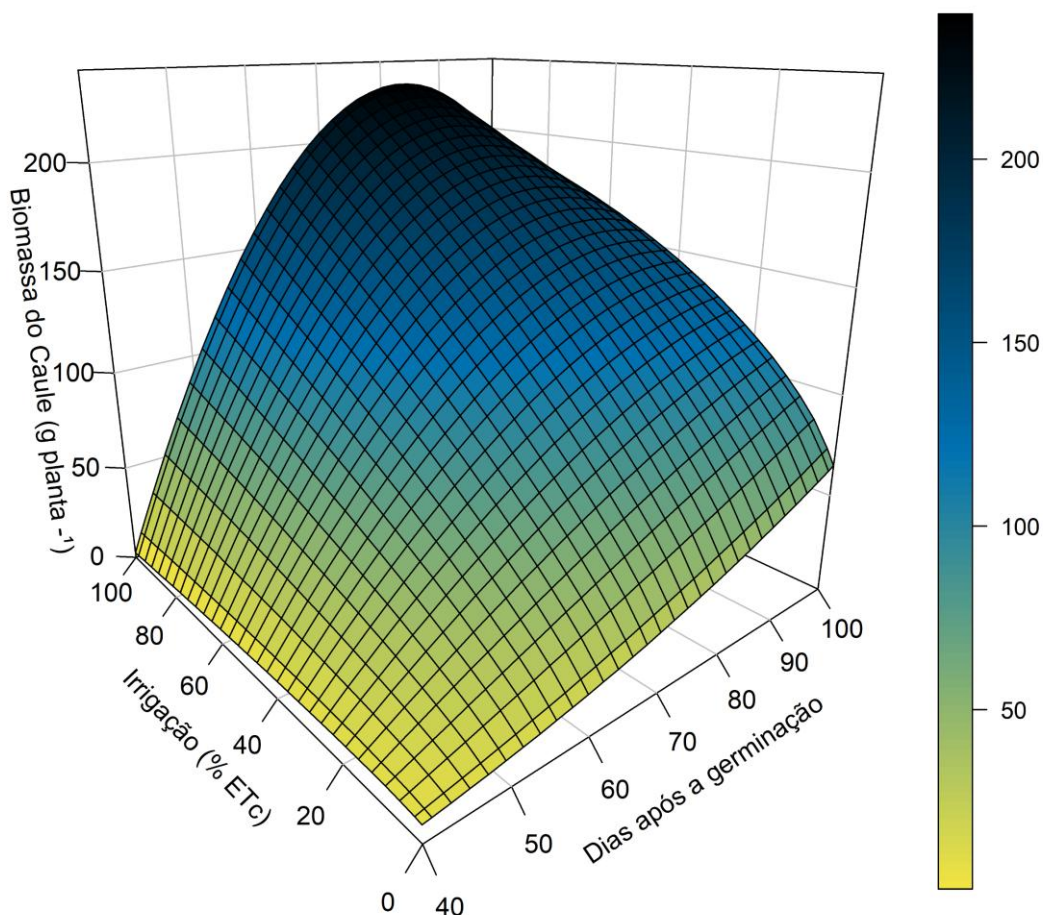
Fonte: Autora (2024).

### 3.2.5 Biomassa do caule

A biomassa do caule (BMC) apresentou resposta significativa quando submetida as lâminas de irrigação em diferentes fases fenológicas ( $P < 0,01$ ). A análise de desdobramento desse fenômeno, nos dois ciclos estudados, revelou que o fator irrigação não exerceu efeito significativo no estágio E2, 40 DAG ( $P > 0,05$ ), em que indiferente do tratamento, a média da massa é a mesma. Ao explorar as fases fenológicas dentro de cada lâmina, todas exibiram diferenças estatisticamente significativas ( $P < 0,01$ ) (Figura 21 e

Figura 22).

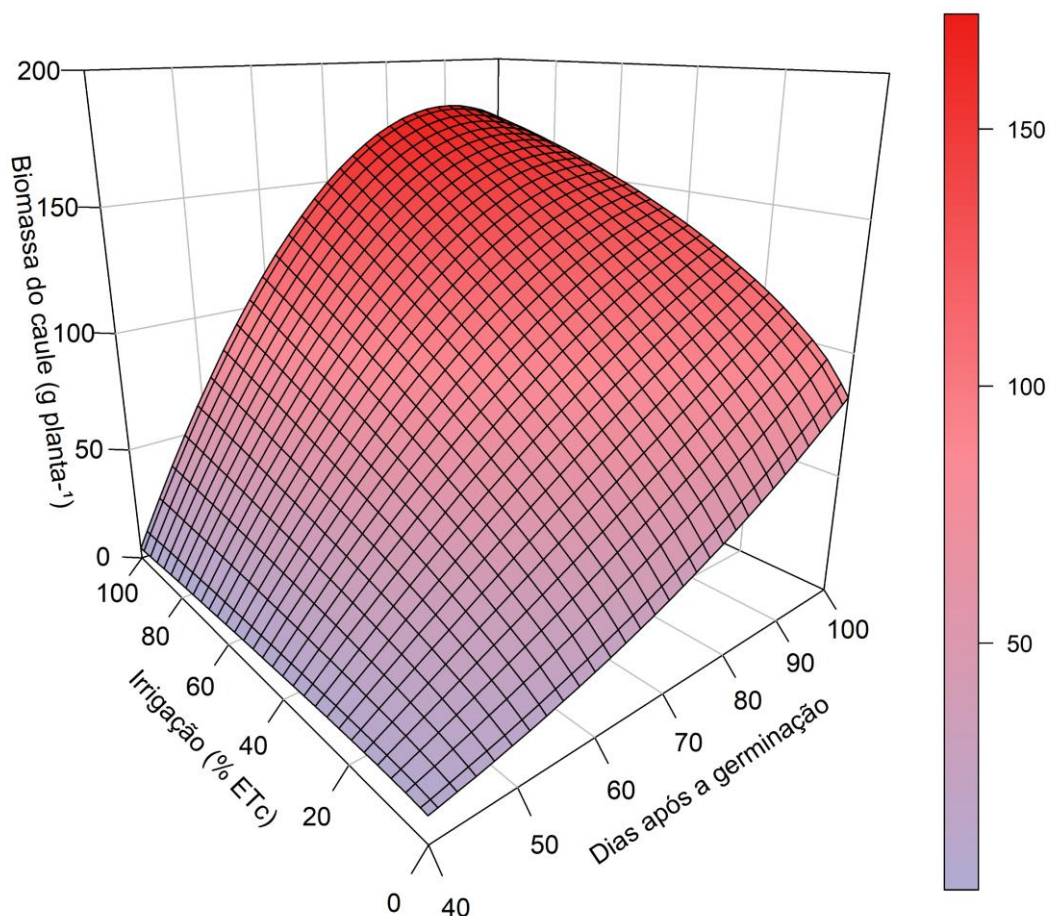
Figura 21 - Valores médios para a biomassa do caule ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022).



$$\hat{C} = 0,0016 \times DAG^{2,3} - 7,4045 \times I^{0,93} - 0,0002 \times DAG^{2,3} \times I + 0,2231 \times DAG \times I^{0,93} \quad R^2 = 0,96$$

Fonte: Autora (2024).

Figura 22 - Valores médios para a biomassa do caule ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023).



$$\hat{C} = 0,0021 \times DAG^{2,3} - 4,7260 \times I^{0,93} - 0,00015 \times DAG^{2,3} \times I + 0,1410 \times DAG \times I^{0,93} \quad R^2 = 0,98$$

Fonte: Autora (2024).

No 1° Ciclo, no estágio E4 (80 DAG), a cultura atingiu o pico de acúmulo de biomassa do caule ao ser irrigada com 100% da ETC, totalizando 226,6 g planta<sup>-1</sup>. Esse valor representa um aumento significativo de 481% em comparação com a cultura não irrigada, que registrou 39 g por planta (Figura 21). No 2° Ciclo, a mesma tendência ocorre, em que a irrigação de 100% ETC reflete o maior peso da biomassa (171,6 g planta<sup>-1</sup>) o que representa um aumento significativo de 247% em comparação com a cultura não irrigada (49,4 g planta<sup>-1</sup>) (Figura 22).

Na biomassa seca do caule (BMSC) observou-se uma resposta interativa entre as

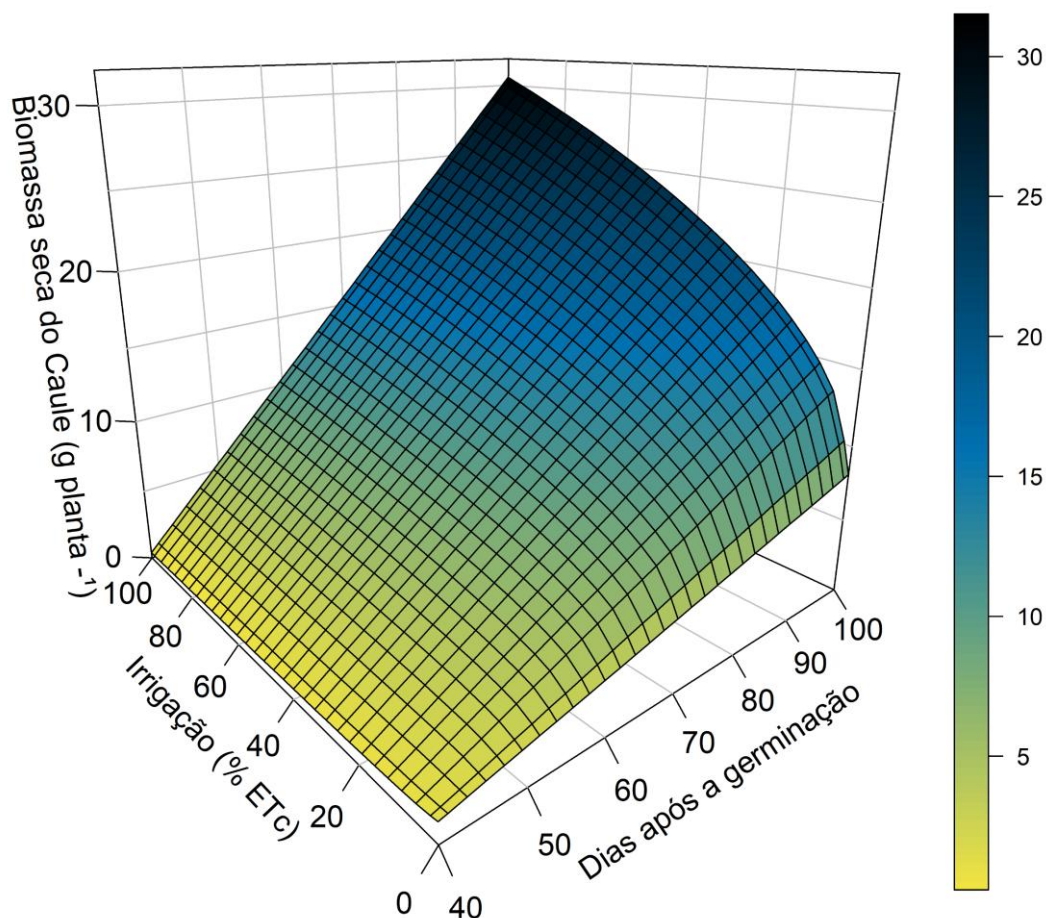
lâminas de irrigação e a época de avaliação, nos dois ciclos de cultivo ( $P < 0,01$ ). Para avaliar o fenômeno da interação foi realizada o desdobramento.

No 1º Ciclo, a análise de desdobramento revelou que o fator irrigação não infere diferença significativamente até o nível de confiança estipulado (5% de probabilidade de erro) nas fases de 40 DAG e 60 DAG ( $P > 0,05$ ), em que a média seria o melhor indicador. No entanto, diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) surgiram nas fases de 80 DAG e 100 DAG.

Já no 2º Ciclo, apenas nas fases E2 (40 dias após a germinação - DAG) não teve diferença significativa, com a média sendo o melhor indicador nesta fase ( $P > 0,05$ ). Vale ressaltar que em ambos os ciclos, ao explorar o desdobramento do fenômeno das fases dentro de cada lâmina, todas exibiram diferenças estatisticamente significativas ( $P < 0,01$ ).

No 1º Ciclo (2022), a irrigação de 100% da ETc resultou em um aumento de 259% no acúmulo da BMSC (20,57 g por planta), aos 80 DAG, quando comparada ao cultivo sem irrigação (Figura 23). Na fase reprodutiva (100 DAG) observou-se que a BMSC aumentou em 148%, 25%, 15%, 11% e 9% com o incremento da lâmina de irrigação.

Figura 23 - Valores médios para a biomassa seca do caule ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 1º Ciclo de cultivo (2022).

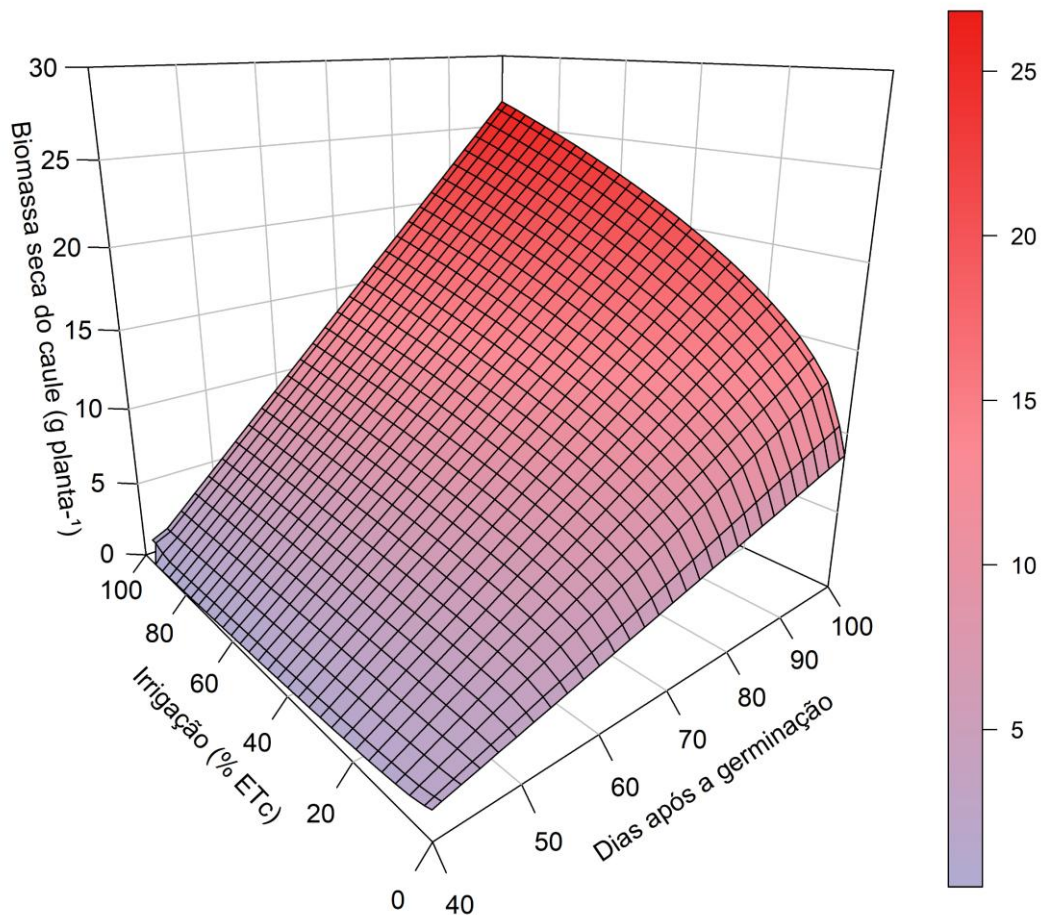


$$\widehat{BMSC} = 0,0715 \times DAG - 2,0497 \times I^{0,5} + 0,0442 \times DAG \times I^{0,5} \quad R^2 = 0,95$$

Fonte: Autora (2024).

No 2º Ciclo (2023), na fase reprodutiva, aos 80 DAG, observou-se um aumento ainda maior de 187% na BMSC com a irrigação de 100% da ETc, registrando 17,80 g por planta, em contraste com os 6,19g por planta do tratamento sem irrigação (Figura 24).

Figura 24 - Valores médios para a biomassa seca do caule (g planta<sup>-1</sup>) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%) pela evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias após a germinação (DAG), no 2º Ciclo de cultivo (2023).



$$\widehat{BMSC} = 0,0774 \times DAG - 1,8479 \times I^{0,5} + 0,0376 \times DAG \times I^{0,5} \quad R^2 = 0,98$$

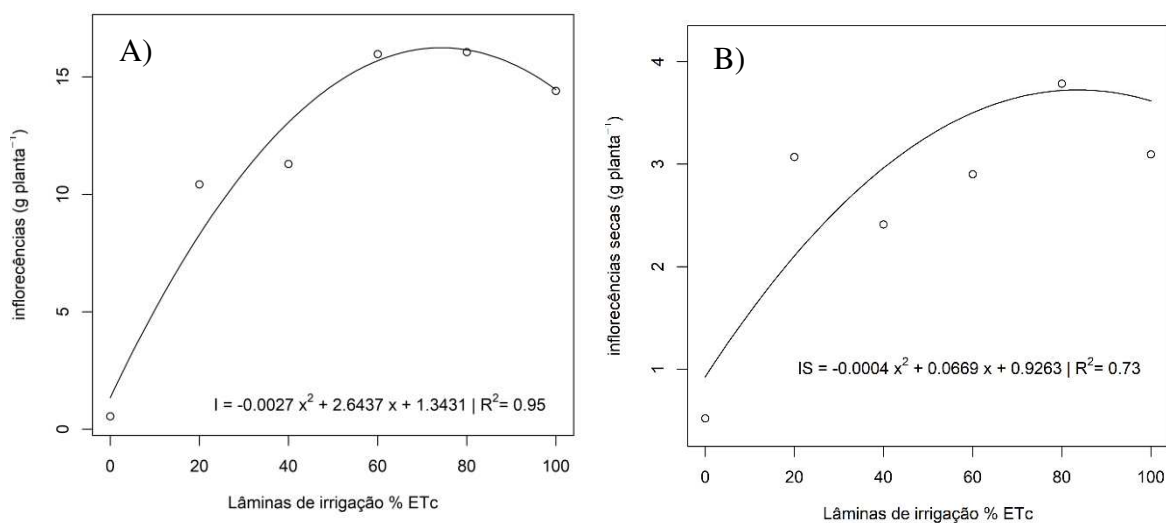
Fonte: Autora (2024).

### 3.2.6 Biomassa das inflorescências

A biomassa fresca das inflorescências (BMI) e a biomassa seca das inflorescências (BMSI) foram significativamente influenciadas pelas lâminas de irrigação em ambos os ciclos estudados nesta pesquisa ( $P < 0,01$ ).

No 1º Ciclo o ponto máximo ocorreu com a irrigação a 74% da ETc, resultando em 16,25 g na biomassa das inflorescências frescas por planta, enquanto a BMSI teve seu ponto máximo com a irrigação de 83,62% ETc (Figura 25).

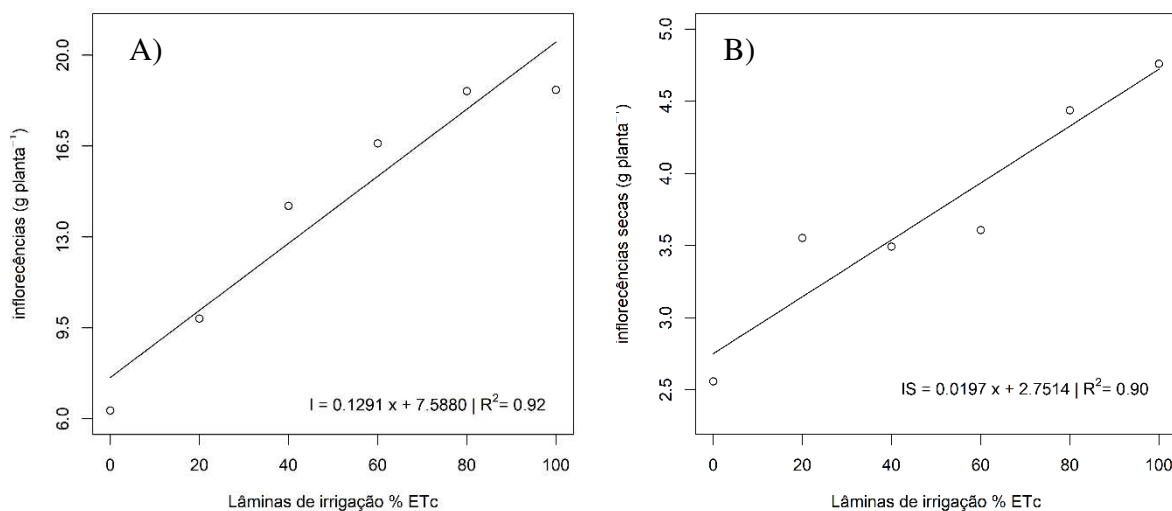
Figura 25- Valores médios para a biomassa das inflorescências frescas (A) e secas (B) ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%), no 1º Ciclo de cultivo (2022).



Fonte: Autora (2024).

No 2º Ciclo, a análise da equação de regressão da BMI sugere que a adoção da irrigação resulta em um aumento percentual de 2,6 no peso das inflorescências, com o maior aporte de biomassa quando a cultura foi irrigada a 100% da ETc ( $20,50 \text{ g planta}^{-1}$ ) (Figura 26). Enquanto na BMSI, o aumento percentual foi de 0,4, com máximo acúmulo de biomassa com a irrigação plena (100% ETc), estimando-se um valor de  $4,7 \text{ g planta}^{-1}$ .

Figura 26 - Valores médios para a biomassa das inflorescências frescas (A) e secas (B) ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%), no 2º Ciclo de cultivo (2023).



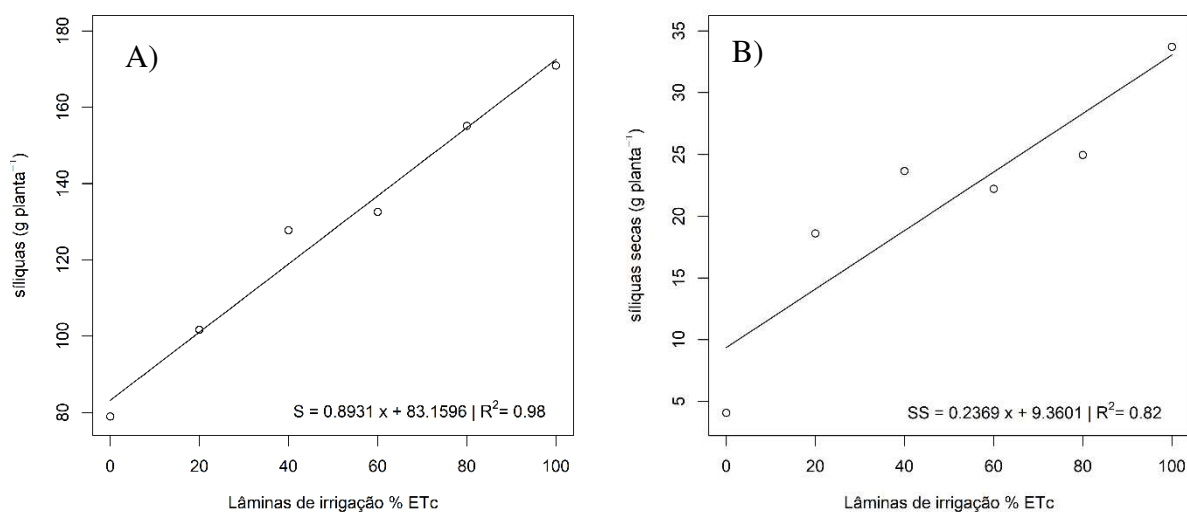
Fonte: Autora (2024).

### 3.2.7 Biomassa das siliquas

A biomassa fresca das siliquas (BMS) e a biomassa seca das siliquas (BMSS) foram significativamente influenciadas pelas lâminas irrigação em ambos os ciclos de cultivos ( $P < 0,01$ ).

No 1º Ciclo, a análise da equação de regressão da BMS sugere que a adoção da irrigação resulta em um aumento percentual de 17,9 no peso das siliquas (Figura 27A). O ponto mais alto desse aumento foi registrado aos 100% da ETc, alcançando uma biomassa de 172,5 g planta<sup>-1</sup>. Com relação a BMSS, no 1º ciclo identifica-se um aumento percentual de 4,7 no acúmulo de biomassa, sendo o maior acúmulo com a irrigação a 100% da ETc, resultando em 33 g de acúmulo de biomassa seca das siliquas (Figura 27B).

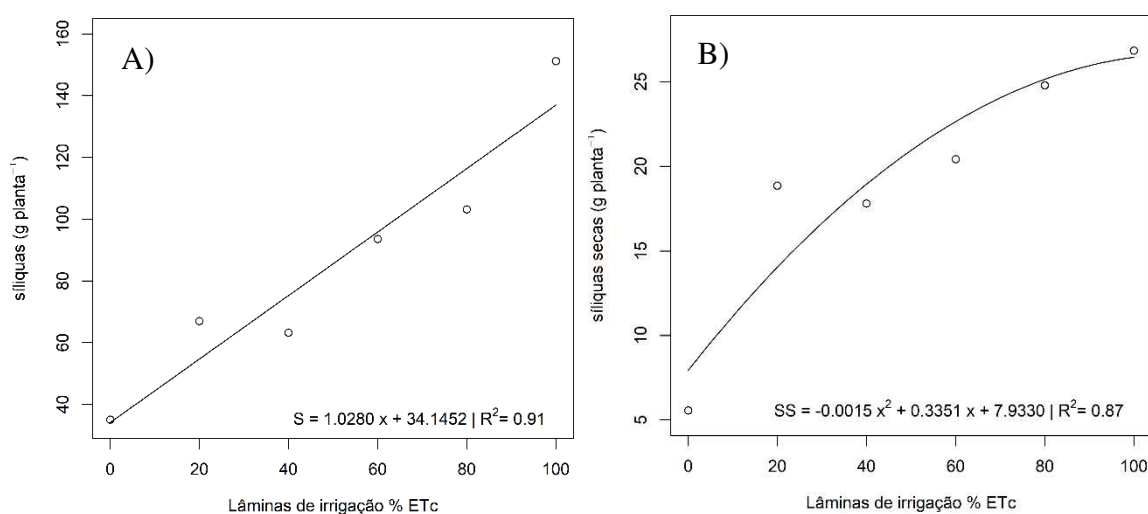
Figura 27 - Valores médios para a biomassa das siliquas frescas (A) e secas (B) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%), no 1º Ciclo de cultivo (2022).



Fonte: Autora (2024).

No 2º Ciclo, a análise da equação de regressão da BMS sugere que a adoção da irrigação resulta em um aumento percentual de 20,5 no peso das siliquas, com o maior aporte de biomassa quando a cultura foi irrigada a 100% da ETc (137 g planta<sup>-1</sup>) (Figura 28A). No quesito BMSS, ao derivar a equação, o ponto mais alto desse aumento foi registrado aos 100% da ETc, alcançando uma biomassa de 26,4 g planta<sup>-1</sup> (Figura 28B).

Figura 28 - Valores médios para a biomassa das siliquas frescas (A) e secas (B) da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%), no 2º Ciclo de cultivo (2023).



Fonte: Autora (2024).

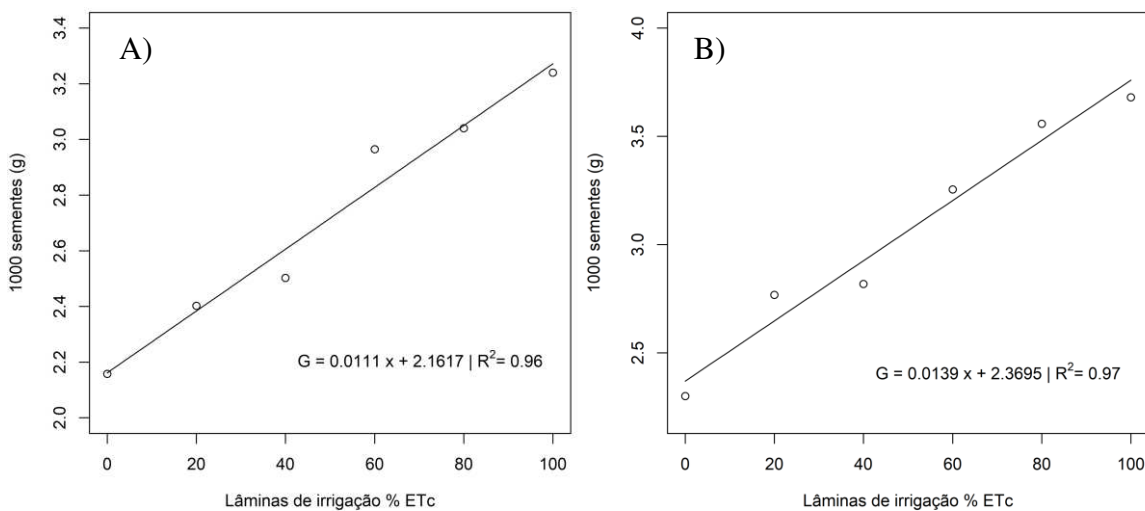
### 3.2.8. 1000 sementes

A irrigação resultou em uma influência significativamente positiva no peso de 1000 sementes de canola no 1º ciclo ( $P < 0,01$ ) e 2º ciclo ( $P < 0,05$ ).

No 1º Ciclo, a análise da equação de regressão revelou um incremento percentual de 0,2 para cada aumento nas lâminas de irrigação (Figura 29A). O ápice desse aumento ocorreu quando a cultura foi irrigada a 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), atingindo 3,3 g por planta.

No 2º Ciclo, a análise da equação de regressão indicou um incremento percentual de 0,3 para cada aumento nas lâminas de irrigação (Figura 29B), com o pico de 3,7 g por planta registrado também sob irrigação plena (100% ETc).

Figura 29 - Valores médios para o peso de 1000 sementes da canola, cv. *Nuola 300*, em função da variação na lâmina irrigada (%), no 1º ciclo (A) e 2º ciclo (B)



Fonte: Autora (2024).

#### 4. DISCUSSÃO

A utilização média de água para o cultivo da canola, sob condições ideais de irrigação (100% ETc), foi de 224 mm ao longo de todo o ciclo. Esse valor está diretamente relacionado à evapotranspiração média observada nos anos de estudo, que foi de cerca de 2,37 mm por dia. Embora esse valor seja inferior à maioria dos reportados na literatura, é comparável ao estudo de Katuwal et al. (2020), que encontrou uma necessidade de 262 mm. É categórico notar que as necessidades hídricas das culturas variam de acordo com as características do solo e clima de diferentes regiões, bem como o potencial de rendimento do híbrido de canola utilizado (Secchi et al., 2023).

Os resultados relacionados à altura das folhas da canola indicam um rápido desenvolvimento da cultura na produção das folhas (E1) para o alongamento da haste principal (E2), culminando na formação da roseta e botão floral. O E1 determina a quantidade de radiação solar interceptada pela planta, influenciando indiretamente a demanda hídrica necessária para otimizar o processo de fotossíntese (Guimarães et al., 2022).

A altura máxima da planta foi de 144 cm (1º Ciclo) e 155 cm (2º Ciclo) aos 80 DAG e com 100% da ETc, durante o florescimento, representando um aumento percentual de 19% (1º Ciclo) e 14,20% (2º Ciclo) em comparação com o tratamento sem irrigação (Figura 13 e 14). Este fenômeno é atribuído ao alongamento das hastes durante o florescimento, que ocorre simultaneamente ao desenvolvimento das estruturas reprodutivas.

Um resultado inesperado nessa pesquisa foi a altura de plantas ter alcançado um pico de aproximadamente 200 cm aos 100 dias (formação de síliquas), em ambos os ciclos de cultivo, com 100% da ETc, ultrapassando a faixa descritiva da cultivar, que descreve altura entre 140 a 165 cm (Nussed, 2022).

Por outro lado, o crescimento rápido das plantas de canola pode resultar em um aumento significativo do sombreamento do solo, dificultando a difusão da radiação no solo e, por conseguinte, influenciando nas menores perdas de água por evaporação do solo e incidência de plantas oportunistas. Assim, mesmo nos casos de aplicação de lâminas de irrigação menores pode ocorrer atenuação do fenômeno de evaporação do solo.

Nos resultados do diâmetro do caule, a redução da irrigação resultou em caules mais finos (Figura 15 e 16). Isso provavelmente enfraqueceu as características mecânicas dos internódios basais, como a rigidez flexural e a qualidade do feixe vascular, resultando possivelmente em células da fibra atrofiadas e as paredes da fibra, o xilema e floema secundários menores (Wu et al., 2021). Dessa forma, as plantas tornam-se mais susceptíveis ao acamamento pela ação de ventos e chuva (Lopes et al., 2020), representando um impacto negativo tanto no desenvolvimento da cultura quanto nos processos de colheita mecanizada.

A biomassa total (BMT) foi influenciada pela lâmina de irrigação em todas as épocas fenológicas ( $P < 0,01$ ) nos dois ciclos de cultivo (Figura 17 e 18). Durante a fase vegetativa, as folhas e o caules são os principais consumidores e agentes facilitadores de fotoassimilados, desempenhando um papel substancial no total de biomassa em todos os tratamentos. Enquanto na fase reprodutiva, a concentração de biomassa é alocada para o enchimento das sementes, como verificado por Katuwal et al. (2018).

O uso de lâmina de irrigação influenciou na biomassa das folhas (BMF), em todas as fases fenológicas estudadas. Vale ressaltar que as folhas são produzidas com uma taxa média de uma folha a cada 7 a 10 dias (Edwards; Hertel, 2011). O alongamento da haste principal inicia-se, geralmente, quando há oito a nove folhas completamente expandidas, ocorrendo também a ramificação de hastes e crescimento contínuo das raízes. Portanto, a falta de água durante essa fase pode reduzir o número de hastes produzidas pelas plantas, devido a diminuição da absorção de nutrientes, da taxa fotossintética e da transpiração (Guimarães et al., 2022).

A análise dos dados nos dois ciclos sugere que o pico no acúmulo de biomassa foliar (BMF) ocorre aos 80 DAG, isso porque a necessidade de água da canola na primeira metade é marcada pela estação de crescimento. Em decorrência do aumento da área de superfície das folhas, a demanda de água atinge seu ápice na reprodução, maximizando o acúmulo de biomassa (Katuwal et al., 2018).

Por outro lado, notou-se uma redução acentuada na BMF ao 100 DAG e não significativa para todos os tratamentos de irrigação. Esse fato seria preocupante na maioria das culturas, pois as folhas são as principais responsáveis pela interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e pela fotossíntese. Contudo, na canola, a senescência das folhas é um fenômeno natural. Nessa cultura, as folhas interceptam a PAR durante o crescimento vegetativo, em função do índice de área foliar, mas, após a

floração, esses processos são transferidos para as estruturas reprodutivas, sobretudo as siliquas (Diepenbrock, 2000; Fochesatto et al., 2016).

Cabe ressaltar que o aumento da irrigação influenciou significativamente na biomassa fresca (BMC) e na biomassa seca do caule (BMSC). Esses resultados podem ser relevantes quando se considera a finalidade de produção da canola para aplicações têxteis. A biomassa residual de canola emerge como uma fonte de fibras têxteis praticamente sem custos, uma vez que pode ser obtida dos caules remanescentes das plantas após a colheita, com aplicações têxteis em constante ascensão (Shuvo et al., 2020).

Os resultados indicaram que BMSC atingiu alto acúmulo na fase reprodutiva de floração (80 DAG), seguido por uma diminuição sutil durante a fase de desenvolvimento das siliquas. Essa observação sugere que a BMSC foi mobilizada para o preenchimento das sementes de canola, indicando que a demanda por assimilados superou a capacidade de fotossíntese atual. Esse fenômeno é semelhante ao relatado por Katuwal et al. (2018), que reforçam a hipótese de que a alocação de biomassa do caule para o enchimento das sementes é uma resposta comum em condições similares.

A irrigação influenciou na quantidade de biomassa das inflorescências (BMI), nos dois ciclos de cultivo. Durante as fases iniciais do crescimento reprodutivo, o meristema apical do caule se converte em meristema da inflorescência, desencadeando a produção contínua de primórdios florais (Ye et al., 2017). Esse processo é cuidadosamente regulado pela interação de fatores internos, como carboidratos, e externos, como a presença de água (Li et al., 2020). A ausência adequada desses fatores pode resultar em prejuízos significativos para o desenvolvimento saudável das inflorescências, pois no período que abrange a diferenciação meristema até a brotação é fundamental para a formação saudável de flores e siliquas.

Vale ressaltar que a fase de floração e a formação de siliquas são as fases mais sensíveis ao estresse hídrico (Jalil and Ansari, 2020). E neste estudo, observou-se que as menores irrigações resultaram em um acúmulo menor de biomassa nas siliquas (BMS) e na biomassa seca das siliquas (BMSS). Isso ocorreu porque a cultura enfrentou constantemente déficits de água em relação às necessidades durante o ciclo de cultivo, conforme indicado na Tabela 3.

Desde o início da floração até o início do enchimento das sementes, os botões florais e as flores são responsáveis pela produção da maior parte da matéria seca das sementes

(Kovaleski et al., 2020). Logo a diminuição da lâmina de irrigação na fase de floração refletiu em diminuição da biomassa das síliquas da canola nas plantas desses tratamentos.

A biomassa das síliquas desempenha uma função fundamental ao envolver e proteger as sementes em desenvolvimento contra pragas e patógenos. A parede da vagem, com sua atividade fotossintética, contribui com assimilações e nutrientes para sustentar o crescimento das sementes (Bennett et al., 2011). Isso destaca a relevância dessas estruturas no processo de desenvolvimento da canola e na produção final das sementes e os resultados evidenciam a influência direta da irrigação nessa estrutura.

A resposta do peso de 1000 sementes confirma a influência significativa da irrigação na produção da cultura. Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores (Mohtashami et al., 2020; Nazeri et al., 2018; Saffari et al., 2023; Waraich et al., 2020), que indicam que a exposição das plantas ao estresse hídrico reduz o rendimento das sementes.

O peso de 1000 sementes pode ser afetado quando o estresse hídrico ocorre durante o enchimento das síliquas até o estágio de coloração das sementes (Champolivier and Merrien, 1996). Entretanto, no presente estudo o peso estimado de 1000 sementes foi de 2,16g (1º Ciclo) e 2,37g (2º Ciclo) no cultivo sem irrigação (0 % ETc), corroborando os valores encontrados de 2,8g e 2,3g (Dogan et al., 2011; Mohtashami et al., 2020). Esse valor pode estar relacionado à ocorrência de precipitação efetiva durante a fase de maturação da cultura, reduzindo o estresse hídrico, como também a possível exploração das raízes em camadas mais profundas do solo.

Um aspecto notável deste estudo é que a maioria das variáveis não foi significativamente influenciada pelas lâminas de irrigação aplicadas na fase de 40 dias após a germinação (40 DAG), marcada pelo alongamento da haste principal (E2). Esse resultado sugere que a redução das lâminas de irrigação durante esse período pode não comprometer a produtividade final da cultura. Uma hipótese plausível é que a lâmina de irrigação aplicada durante a fase de estabelecimento tenha promovido um impulso inicial à cultura, permitindo-lhe manter um bom desempenho até a fase de 40 DAG.

É importante observar que a duração, intensidade, estágio de desenvolvimento da planta e condições ambientais são fatores que influenciam a resistência ao estresse hídrico. Estudos científicos indicam que a fase fenológica em que o estresse ocorre é mais determinante do que sua intensidade (Raza, 2021). No entanto, neste estudo, não foi realizada uma análise da influência do estresse hídrico somente em fases fenológicas

específicas, como a reprodutiva, sugerindo uma área de investigação para futuros estudos na região.

## 5. CONCLUSÕES

A necessidade média de água para a cultura da canola, cultivar *Nuola 300*, sob condições ideais de irrigação (100% evapotranspiração da cultura) para a região é em média entre 207 mm a 240 mm por ciclo de cultivo.

A utilização da irrigação adequada influencia positivamente nas características morfológicas da cultura, como altura das plantas, biomassa total, biomassa fresca e seca de folhas, caule, inflorescências e síliquas, quando comparadas a produção sem irrigação, para as épocas estudadas.

A irrigação da canola com 100% da evapotranspiração da cultura pode gerar uma produção das sementes acima de 3,20 g por planta. Esses resultados estão sujeitos às condições edafoclimáticas e às estratégias de gestão da água adotadas.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L. de M., SPAROVEK, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Zeitschrift** 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BENNETT, E.J., ROBERTS, J.A., WAGSTAFF, C., 2011. The role of the pod in seed development: strategies for manipulating yield. **New Phytol.** 190, 838–853. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03714.x>
- CHAMPOLIVIER, L., MERRIEN, A., 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. *oleifera* on yield, yield components and seed quality. **Eur. J. Agron.** 5, 153–160. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(96\)02004-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02004-7)
- DIEPENBROCK, W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. **F. Crop. Res.** 67, 35–49. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00082-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00082-4)
- DOGAN, E., COPUR, O., KAHRAMAN, A., KIRNAK, H., GULDUR, M.E., 2011. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. **Agric. Water Manag.** 98, 1403–1408. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.006>
- FOCHESATTO, E., NIED, A.H., BERGAMASCHI, H., DALMAGO, G.A., PINTO, D.G., KOVALESKI, S., CUNHA, G.R. da, GOUVEA, J.A., 2016. Interception of solar radiation by the productive structures of spring canola hybrids. **Ciência Rural** 46, 1790–1796. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151571>
- FUZARO, L., XAVIER, N.L., CARVALHO, F.J., NERY, F.A.N., CARVALHO, S.M., ANDALÓ, V., 2018. <b>Influence of pollination on canola seed production in the Cerrado of Uberlândia, Minas Gerais State, Brazil. *Acta Sci. Agron.* 40, 39315. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39315>
- GENUCHTEN V M, 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44, 892–898.
- GUIMARÃES, C.G., DOS SANTOS, A., RODRIGUES, E.V., LAVIOLA, B.G., 2022. **Canola: Panorama atual e tecnologias de produção no Brasil.** Brasília.
- JALIL, S.U., ANSARI, M.I., 2020. The Plant Family Brassicaceae, Genome Editing for the Improvement of Brassicaceae for Abiotic Stress Tolerance. **Springer Singapore**, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-6345-4>
- KATUWAL, K.B., ANGADI, S. V., SINGH, S., CHO, Y., BEGNA, S., UMESH, M.R., 2018. Growth-Stage-Based Irrigation Management on Biomass, Yield, and Yield Attributes of Spring Canola in the Southern Great Plains. **Crop Sci.** 58, 2623–2632. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.02.0116>
- KATUWAL, K.B., CHO, Y., SINGH, S., ANGADI, S. V., BEGNA, S., STAMM, M., 2020. Soil water extraction pattern and water use efficiency of spring canola under growth-stage-based irrigation management. **Agric. Water Manag.** 239, 106232.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106232>

KELLER, J., KARMELI, D., 1974. **Trickle Irrigation Design Parameters**. Trans. ASAE 17, 0678–0684. <https://doi.org/10.13031/2013.36936>

KOVALESKI, S., HELDWEIN, A.B., DALMAGO, G.A., GOUVÊA, J.A. de, 2020. Frost damage to canola (*Brassica napus* L.) during reproductive phase in a controlled environment. **Agrometeoros** 27, 397–407. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26463>

LI, S., ZHU, Y., VARSHNEY, R.K., ZHAN, J., ZHENG, X., SHI, J., WANG, X., LIU, G., WANG, H., 2020. A systematic dissection of the mechanisms underlying the natural variation of silique number in rapeseed (*Brassica napus* L.) germplasm. **Plant Biotechnol. J.** 18, 568–580. <https://doi.org/10.1111/pbi.13224>

LIU, J., YANG, H., GOSLING, S.N., KUMMU, M., FLÖRKE, M., PFISTER, S., HANASAKI, N., WADA, Y., ZHANG, X., ZHENG, C., ALCAMO, J., OKI, T., 2017. Water scarcity assessments in the past, present, and future. **Earth's Futur.** 5, 545–559. <https://doi.org/10.1002/2016EF000518>

LOPES, A.G.C., CORREIA, T.P. da S., CARNEIRO, K.P. da S., FARIA, A.P.F. de A., Faggion, F., 2020. Desempenho agrônômico da cultura da canola em diferentes arranjos espaciais de semeadura no cerrado do planalto central. **Energ. Agric.** 35, 158–169. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n2p158-169>

LÓPEZ-URREA, R., SÁNCHEZ, J.M., DE LA CRUZ, F., GONZÁLEZ-PIQUERAS, J., CHÁVEZ, J.L., 2020. Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements for sprinkler-irrigated canola. **Agric. Water Manag.** 239, 106260. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106260>

LOSA, A., VORSTER, J., COMINELLI, E., SPARVOLI, F., PAOLO, D., SALA, T., FERRARI, M., CARBONARO, M., MARCONI, S., CAMILLI, E., REBOUL, E., WASWA, B., EKESA, B., ARAGÃO, F., KUNERT, K., 2022. Drought and heat affect common bean minerals and human diet—What we know and where to go. **Food Energy Secur.** 11. <https://doi.org/10.1002/fes3.351>

MANTOVANI, E.C., BERNARDO, S., PALARETTI, L.F., 2009. **Irrigação: Princípios e métodos**. UFV, Viçosa- MG.

MOHTASHAMI, R., MOVAHHEDI DEHNAVI, M., BALOUCHI, H., FARAJI, H., 2020. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. **Agric. Water Manag.** 232, 106046. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106046>

NADEEM, M., LI, J., YAHYA, M., SHER, A., MA, C., WANG, X., QIU, L., 2019. Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review. **Int. J. Mol. Sci.** 20, 2541. <https://doi.org/10.3390/ijms20102541>

NAZERI, P., SHIRANI RAD, A.H., VALADABADI, S.A., MIRAKHORI, M., HADIDI MASOULE, E., 2018. Effect of sowing dates and late season water deficit stress on quantitative and qualitative traits of canola cultivars. **Outlook Agric.** 47, 291–297. <https://doi.org/10.1177/0030727018793658>

NOBEL, P., 2020. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**, 5th ed. Academic Press, Amsterdam.

NUSSED, B., 2022. **Canola Nuola 300**, Nussed.

PEREIRA, L. S., PAREDES, P., HUNSAKER, D. J., LÓPEZ-URREA, R., & MOHAMMADI SHAD, Z. (2021). Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. **Agricultural Water Management**, 243, 106466. doi:10.1016/j.agwat.2020.106466

POTT, C.A., DE MARIA, I.C., 2003. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Rev. Bras. Ciência do Solo** 27, 19–27. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100003>

RAHIMI-MOGHADDAM, S., EYNI-NARGESEH, H., AHMADI, S.A.K., Azizi, K., 2021. Towards withholding irrigation regimes and drought-resistant genotypes as strategies to increase canola production in drought-prone environments: A modeling approach. **Agric. Water Manag.** 243, 106487. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106487>

RAZA, A., 2021. Eco-physiological and Biochemical Responses of Rapeseed (*Brassica napus* L.) to Abiotic Stresses: Consequences and Mitigation Strategies. **J. Plant Growth Regul.** 40, 1368–1388. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10231-z>

RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, PAULO T.G., ALVAREZ V, V.H., 1999. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**, Comissão d. ed, **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5º Aproximação**. CFSEMG, Viçosa- MG.

RIVELLI, G.M., CALDERINI, D.F., ABELEDO, L.G., MIRALLES, D.J., RONDANINI, D.P., 2024. Yield and quality traits of wheat and rapeseed in response to source-sink ratio and heat stress in post-flowering. **Eur. J. Agron.** 152, 127028. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.127028>

SAFFARI, M.R., JAFARZADEH KENARSARI, M., FARNIA, A., SASANI, S., 2023. Growth Analysis and Oil Quality of Canola (*Brassica napus* L.) Treated with Zinc Nanochelate and Zinc Sulfate Under Different Irrigation Regimes. **Gesunde Pflanz.** 75, 1615–1624. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00825-w>

SECCHI, M.A., FERNANDEZ, J.A., STAMM, M.J., DURRETT, T., PRASAD, P.V.V., Messina, C.D., Ciampitti, I.A., 2023. Effects of heat and drought on canola (*Brassica napus* L.) yield, oil, and protein: A meta-analysis. **F. Crop. Res.** 293, 108848. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108848>

SHUVO, I.I., RAHMAN, M., VAHORA, T., MORRISON, J., DUCHARME, S., CHOO-SMITH, L.-P., 2020. Producing light-weight bast fibers from canola biomass for technical textiles. **Text. Res. J.** 90, 1311–1325. <https://doi.org/10.1177/0040517519886636>

SILVA, L.F.L. GONÇALVES, W.M., MALUF, W.R., RESENDE, L.V., SARMIENTO, C.M., LICURSI, V., MORETTO, P., 2017. Energy balance of biodiesel

production from canola. **Ciência Rural** 47, 1–5. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151084>

WARAICH, E.A., AHMAD, RIAZ, Ahmad, RASHID, Ahmad, ZEESHAN, Ahmad, ZAHOOr, BARUTCULAR, C., ERMAN, M., CIG, F., SANEOKA, H., ÖZTÜRK, F., El SABAGH, A., 2020. Comparative study of growth, physiology and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L.) and canola (*Brassica napus* L.) under different irrigation regimes. **Pakistan J. Bot.** 52. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-5\(2\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-5(2))

WU, W., DUNCAN, R.W., MA, B., 2021. Crop lodging, pod fertility and yield formation in canola under varying degrees of short-term heat stress during flowering. **J. Agron. Crop Sci.** 207, 690–704. <https://doi.org/10.1111/jac.12510>

WU, W., MA, B.L., WHALEN, J.K., 2018. Enhancing Rapeseed Tolerance to Heat and Drought Stresses in a Changing Climate: Perspectives for Stress Adaptation from Root System Architecture, **Advances in Agronomy**. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.05.002>

YE, J., YANG, Y., CHEN, B., SHI, J., LUO, M., ZHAN, J., WANG, X., LIU, G., WANG, H., 2017. An integrated analysis of QTL mapping and RNA sequencing provides further insights and promising candidates for pod number variation in rapeseed (*Brassica napus* L.). **BMC Genomics** 18, 71. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-3402-y>

## CAPÍTULO 2 – MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA A PRODUTIVIDADE DE SEMENTES E ÓLEO DE CANOLA

### RESUMO

A canola tem se destacado como uma opção de cultivo promissora no sudeste brasileiro, incluindo Minas Gerais. No entanto, para compreender melhor o comportamento da cultura nessas regiões, o objetivo foi avaliar o efeito de lâminas de irrigação na produtividade das sementes e no rendimento de óleo de canola. Realizado em Viçosa-MG, o experimento adotou um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, utilizando seis lâminas de água: 0 (sem irrigação), 20, 40, 60, 80 e 100% baseadas na evapotranspiração da cultura (ETc), com sistema de irrigação por gotejamento superficial. As variáveis estudadas foram: produtividade das sementes (P), produtividade de óleo das sementes (PO), produtividade da água para as sementes (WP) e para o óleo (WPO), teor de óleo, índice de acidez, proteína, cinzas, carboidratos e fibras. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão, com nível de significância de 5%. A demanda média de água da canola foi estimada entre 207 a 240 mm por ciclo. Os resultados indicaram influência significativa das lâminas de irrigação nas variáveis: P, PO, WP e WPO, no teor de óleo e índice de acidez ( $P < 0,01$ ). A produtividade máxima das sementes foi de 3.364,6 kg ha<sup>-1</sup> (2022) e 3.559,1 kg ha<sup>-1</sup> (2023), com 100% da ETc. Enquanto a maior produtividade de óleo foi estimada em 1074,62 kg ha<sup>-1</sup> (2022) e 1064,5 kg ha<sup>-1</sup> (2023). Foi contabilizada variação no teor de óleo entre 27 a 30,5% dependendo do nível de irrigação. Em contraste, a concentração de proteína nas sementes não apresentou diferenças estatisticamente significativas ( $P < 0,05$ ). A WP da canola aumentou em 75% (2022) e 80% (2023) com a irrigação de 20% da ETc quando comparado ao cultivo sem irrigação. Enquanto a otimização da WPO foi alcançada ao irrigar a 20% (8,23 e 3,81 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) da ETc. O índice de acidez alcançou seu ponto mais alto no cultivo sem irrigação, registrando 0,25 (2022) e 0,23 (2023) g/100g de ácido oleico. Os resultados evidenciam a eficácia do uso da lâmina de irrigação de 100% da evapotranspiração da cultura como alternativa para aprimorar a gestão da irrigação e potencializar a produtividade da canola na região estudada.

Palavras-Chave: *Brassica napus* L. Evapotranspiração da cultura. Produção.

## 1. INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleífera*) está entre as culturas mais importantes em todo o mundo, uma vez que a sua produção aumentou em um ritmo acelerado, cerca de 50 % nos últimos 10 anos (2007-2017), maior do que qualquer outra cultura oleaginosa (Goyal *et al.*, 2021). Esse avanço não apenas destaca a significância econômica da canola, mas a importância no cenário agrícola internacional (Secchi *et al.*, 2023; Wu, Ma e Whalen, 2018).

No Brasil, em 2022, a produtividade das sementes de canola atingiu a marca de 1.743 kg ha<sup>-1</sup>, e as projeções indicaram uma previsão de produção em torno de 102,7 mil toneladas para 2023 (CONAB, 2023). Esses números ressaltam a relevância crescente dessa cultura no país e sua contribuição para a produção de alimentos e combustíveis de forma sustentável, como óleos e biodiesel (Fuzaro *et al.*, 2018).

A canola é cultivada principalmente pelo elevado teor de óleo das sementes, classificando-se como o terceiro óleo vegetal mais consumido no mundo, com 31,21 milhões de toneladas, atrás apenas do óleo de dendê (76,04 milhões) e do óleo de soja (60,32 milhões) (Statista, 2023). O óleo de canola é provavelmente o único óleo vegetal comestível pelos padrões atuais que é nutricionalmente bem equilibrado entre todos os outros óleos vegetais (Goyal *et al.*, 2021).

No entanto, o ambiente de cultivo exerce uma influência decisiva na produtividade da cultura (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021), produtividade de água (Asgari *et al.*, 2021) e na qualidade do óleo (Feng *et al.*, 2020), sendo o estresse hídrico especialmente influente na quantidade de óleo nas sementes e possível aumento de acidez (Fard *et al.*, 2018; Viana *et al.*, 2022).

Diante de cenários de mudanças climáticas que incluem períodos excepcionalmente secos, existe o potencial de impactos ainda mais negativos quanto ao rendimento e qualidade das sementes de canola, afetando a produção de óleo e limitando a capacidade dos produtores de atender à crescente demanda (Secchi *et al.*, 2023). Neste sentido, a gestão da irrigação desempenha um papel fundamental na melhoria do agrossistema produtivo da canola (Feng *et al.*, 2020).

Com expectativa de expansão das áreas agrícolas de canola no Centro-oeste, Sudeste e Sul do Brasil (Fuzaro *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2017), destaca-se a avaliação de híbridos de canola em Minas Gerais, na região da Zona da Mata mineira. Resultados

indicam elevado potencial produtivo das sementes para a cultura, alcançando valores acima de 3000 kg ha<sup>-1</sup> (Lus et al., 2014). Contudo esse estudo não considerou a falta de irrigação ou o uso de volumes de água abaixo das necessidades hídricas da cultura para a região.

A falta de estudos sobre a produção de óleo, especialmente em diferentes condições de disponibilidade de água na Zona da Mata Mineira, destaca uma lacuna significativa no conhecimento científico da agricultura irrigada brasileira. Essa carência compromete a base para as decisões no complexo processo de adaptação da canola à região tropicalizada. Diante dessa perspectiva, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito de lâminas de irrigação na produtividade das sementes e óleo de canola.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área experimental**

Experimentos em campo foram conduzidos na área experimental de Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil, em 2022 (1º Ciclo entre maio a setembro) e 2023 (2º Ciclo, entre maio a set). O clima da região, segundo classificação climática de Köppen, é do tipo “Cwa”: tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco (Alvares et al., 2013).

O solo da área experimental foi classificado como Argisolo Vermelho Amarelo (Santos, 2018). A densidade do solo média, nos dois anos de estudo, foi estimada em 1,0 g/cm<sup>3</sup> (0 – 20 cm), 1,21 g/cm<sup>3</sup> (20 – 40 cm) e 1,35 g/cm<sup>3</sup> (40 – 60 cm). A capacidade de campo do solo média nos dois anos foi estimada em 0,41 cm<sup>-3</sup> cm<sup>-3</sup> (0 – 20 cm), 0,50 cm<sup>-3</sup> cm<sup>-3</sup> (20 – 40 cm) e 0,51 cm<sup>-3</sup> cm<sup>-3</sup> (40 – 60 cm). O ponto de murcha foi estimado em 0,21 cm<sup>-3</sup> cm<sup>-3</sup> (0 - 20 cm), 0,24 cm<sup>-3</sup> cm<sup>-3</sup> (20 – 40 cm) e 0,24 cm<sup>-3</sup> cm<sup>-3</sup>(40 – 60 cm).

No decorrer do experimento as temperaturas do ar variaram, com máximas de 33 °C (2022) e 32,50 °C (2023), e mínimas do ar atingindo 4,50 °C (2022) e 3,90 °C (2023). A umidade relativa acompanhou essas variações, registrando 97,63% (2022) e 91,81% (2023). Em relação à precipitação total acumulada foi de 63,60mm (2022) e 103,6mm (2023). A evapotranspiração média diária foi estimada em 2,46mm (2022) e 2,28mm (2023), para maiores observações consultar capítulo 1.

### **2.2. Delineamento Experimental**

O experimento foi realizado com seis tratamentos: sem irrigação, 20, 40, 60, 80 e 100% evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). O delineamento em blocos casualizados foi utilizado com quatro repetições, totalizando 24 parcelas.

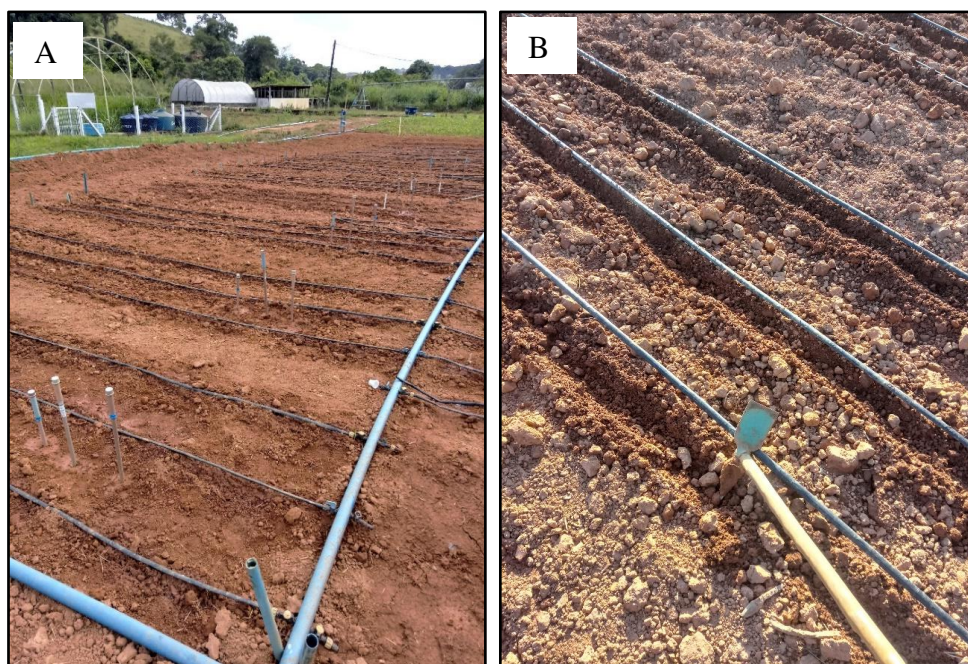
Cada parcela experimental, abrangendo 7,5 m<sup>2</sup>, consistia em três fileiras de plantas espaçadas a cada 0,5 m, com comprimento total de 5,0 m. No entanto, para as avaliações em cada unidade experimental, foi considerada uma área efetiva de 4 metros lineares, correspondendo à linha central de cada tratamento.

No mês de maio em ambos os anos, as sementes da variedade de canola *Nuola 300* foram semeadas a uma profundidade de 0,01 m, com uma densidade de plantio de 25 plantas por metro linear.

### 2.3. Manejo de irrigação e utilização de água da canola

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento superficial, com emissores espaçados a cada 0,20m. A vazão média dos emissores foi de 2,48 L h<sup>-1</sup>, operando a uma pressão de 1 bar. Cada fileira de plantas foi equipada com uma fita de gotejamento (Figura 30). Havia cerca de 25 plantas por metro linear, sendo cerca de um gotejador para cada 5 plantas. A irrigação foi realizada com um intervalo de dois dias.

Figura 30 – Sistema de irrigação dos experimentos com canola irrigada, na área experimental de irrigação e drenagem (A), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG. Fita gotejadora e linha de semeadura (B)



Fonte: Autora (2024).

O manejo da irrigação foi baseado na evapotranspiração diária da cultura (ET<sub>c</sub>). Obteve-se os valores da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pela equação de Penman-Monteith com dados da estação meteorológica automática completa presente na área experimental.

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) utilizado no manejo de irrigação foi descrito em Pereira et al. (2021), a saber: 0,35  $K_c$  inicial, 1,15 fase intermediária, e 0,55 fase final. O coeficiente de localização ( $K_L$ ) foi calculado conforme a metodologia descrita em Mantovani et al. (2009). O coeficiente de estresse hídrico ( $K_s$ ) foi considerado como 1,0.

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_s \times K_L \quad (1)$$

Onde, ET<sub>c</sub> é a evapotranspiração da cultura, mm;  $K_c$  é o coeficiente de cultura, adm;  $K_s$  é o coeficiente de estresse hídrico, adm;  $K_L$  é o coeficiente de localização, adm.

A irrigação total necessária (ITN) foi calculada pela divisão da ET<sub>c</sub> pela eficiência de aplicação do sistema de irrigação (E<sub>a</sub>). A utilização de água de cada tratamento foi calculada somando a lâmina bruta de irrigação, a lâmina de estabelecimento da cultura e a precipitação efetiva (mm).

A lâmina de estabelecimento foi baseada na aplicação diária da evapotranspiração diária da cultura (ET<sub>c</sub>) até o estabelecimento do estande. A precipitação efetiva foi estimada pela diferença entre a precipitação pluviométrica e o conteúdo atual de água no solo.

#### **2.4. Produtividade das sementes**

Aos 125 dias após a germinação (DAG), na maturidade, as plantas de canola de cada área útil da parcela experimental foram colhidas e as plantas foram cortadas na base, quando a maioria das sementes tinha um teor de umidade de 10-12%. Para cada tratamento, as síliquas e as sementes de canola foram separadas manualmente, para contabilização da produtividade das sementes e teor de óleo de semente.

A produtividade das sementes (P) foi estimada pela massa das sementes colhidas na área da parcela, descontando-se o teor de umidade das sementes e extrapolando os valores obtidos em quilos para um hectare. A produtividade de óleo das sementes (PO)

foi calculado multiplicando-se a P pelos respectivos teores finais de óleo de cada tratamento (Chaganti *et al.*, 2021).

## **2.5. Produtividade de água**

Foi determinada a produtividade da água para as sementes (WP) e para o óleo (WPO). O procedimento da WP consistiu no cálculo da relação entre a produtividade das sementes (P) e o consumo total de água da cultura, considerando o somatório da lâmina de estabelecimento, precipitação efetiva e lâmina de irrigação aplicada (Katuwal *et al.*, 2020). O mesmo procedimento foi utilizado para o cálculo da WPO, ao utilizar a PO e o consumo hídrico de cada tratamento.

## **2.6. Pré-tratamento das sementes**

Foi utilizado o procedimento de pré-tratamento por branqueamento das sementes com imersão a 90°C por cinco minutos seguido por resfriamento a menos 10 °C, e secagem em estufa por 24 horas. Posteriormente as sementes foram completamente moídas e passadas por peneira de 900µm, em seguida, procedeu-se a extração de óleo.

## **2.7. Caracterização das sementes de canola**

As sementes foram submetidas à análise da composição centesimal, seguindo método padrão. A determinação da umidade ocorreu através do aquecimento a 105 °C em estufa de ar forçado até atingir peso constante, conforme estabelecido pelo Instituto (2008). O teor de óleo foi extraído utilizando Hexano nas sementes secas e moídas, item 2.8. A quantificação de proteína foi realizada pelo método de arraste de vapor de Kjeldahl, conforme a metodologia descrita pela AOCS (1998). As cinzas foram analisadas em mufla, conforme especificações da AOCS (1998). A quantificação de carboidratos e fibras foi determinada por diferença.

## **2.8. Extração do Óleo de Canola**

Para as análises químicas do óleo utilizou-se as amostras de cada tratamento respeitando-se o mesmo *designer* experimental do campo, ou seja, 6 tratamentos e 4 repetições (Figura 31). As sementes foram colhidas e armazenadas sob refrigeração até o momento da sua utilização.

Figura 31 - Design do experimento em campo, ponto de colheita, preparação de amostras para análises do óleo.



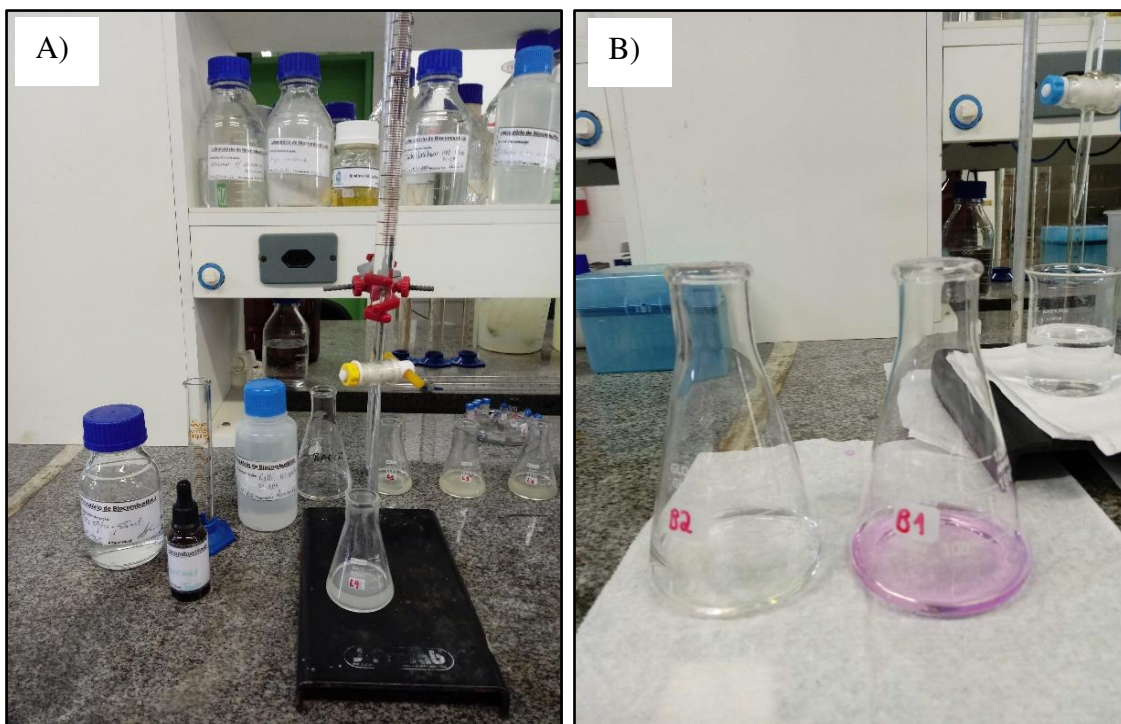
Fonte: Autora (2024).

Para a extração de teor de óleo de canola (colza) usou-se a metodologia adaptada de So e Macdonald (1986) e Confortin *et al.* (2019). Pesou-se 1,0g de cada amostra moída e adicionou-se 20ml de n-Hexano. Seguiu-se para agitação em Vortex por 30s e centrifugou-se o material a 5000rpm por cinco minutos, a 10 °C. Decorrido o tempo estabelecido, os solventes de extração foram dispostos em frascos Erlenmeyer em líquido-solvente proporção de 20:1 (mL solvente/g amostra) e mantidos a 65 °C até a evaporação completa. Durante o processo foram realizadas quatro lavagens. O n-Hexano residual foi removido em estufa de secagem a 65 °C por 24 h. Foram realizadas em 48 amostras. A quantidade de óleo foi medida gravimetricamente por balança de precisão (0,0001 g).

## 2.9. Acidez óleo de canola

A determinação da acidez do óleo seguiu o método preconizado pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e foi expressa em termos de porcentagem de ácido oleico. O procedimento incluiu a realização de oito repetições para cada tratamento. Foi utilizada 25 ml da solução éter+etanol (2:1) e 2 gotas de fenolftaleína. A titulação foi conduzida com uma solução de NaOH 0,01 M (Figura 32). O cálculo da acidez foi baseado na massa molar do ácido graxo predominante no óleo, o ácido oleico.

Figura 32 - A Determinação da acidez do óleo de canola por titulação em laboratório (A) e a mudança da coloração da solução sem amostra (teste em branco) após o teste (B)



Fonte: Autora (2024).

### 3.0 Análise estatística

A normalidade e a homoscedasticidade dos resíduos foram avaliadas considerando os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância e regressão com o auxílio do software R (R Core Team, 2020). Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, no coeficiente de determinação e no comportamento do fenômeno em estudo.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Utilização de água pela cultura da canola

A utilização média de água da canola ao longo dos anos de cultivo encontra-se apresentado na Tabela 4. A demanda média de água da canola, nos dois anos de cultivo, quando submetida ao nível ideal de irrigação (100% ETc), totalizou em média de 224 mm. Durante os experimentos as lâminas de estabelecimento foram irrigadas 13 mm o 1º Ciclo (2022) e 14 mm no 2º Ciclo (2023).

Apesar das precipitações efetivas no ano de 2023 serem superiores ao ano de 2022 e contribuir para a disponibilidade de água no solo, mesmo nos tratamentos de maior restrição de água, as maiores taxas evapotranspirométrica ( $4,41 \text{ mm dia}^{-1}$ ) resultaram no maior volume de irrigação.

Tabela 4. Lâmina de irrigação (mm), precipitação efetiva (mm) e utilização de água total pela cultura da canola (mm) nos tratamentos de irrigação em 2022 e 2023.

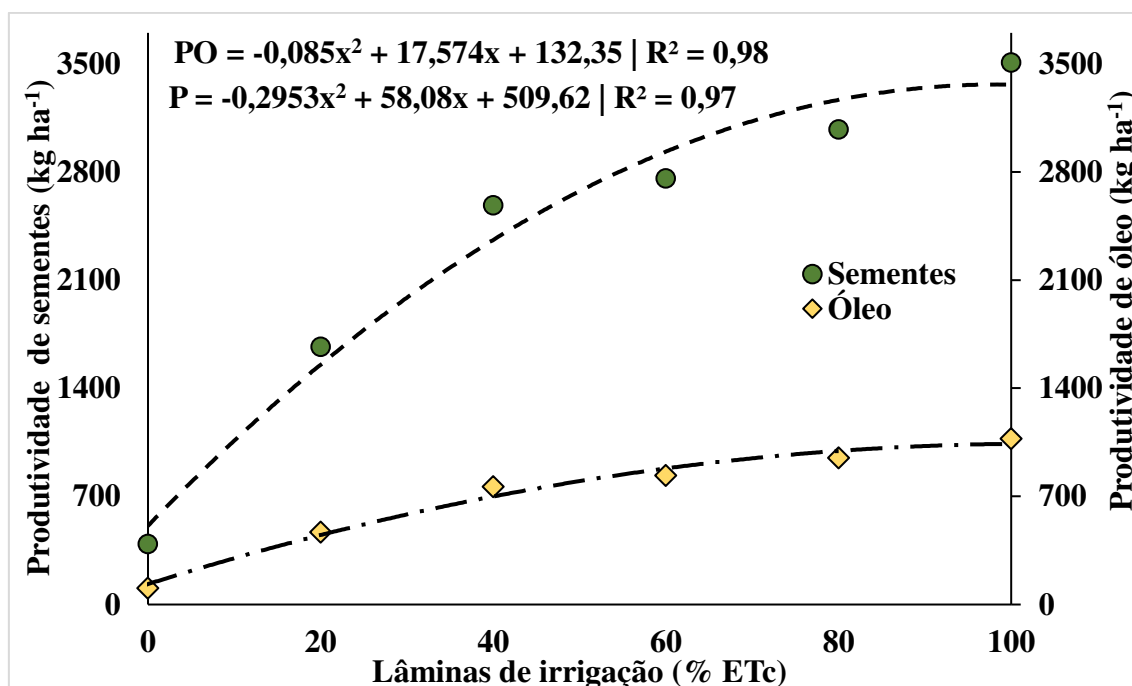
Tratamento	Irrigação aplicada		Precipitação efetiva		Utilização de água total	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
0%	0,00	0,00	11,20	30,67	24,20	44,46
20% ETc	38,12	43,73	6,60	25,13	57,72	82,86
40% ETc	76,24	87,46	6,27	20,90	95,51	122,36
60% ETc	114,36	131,20	6,58	17,34	133,95	162,54
80% ETc	152,48	174,92	6,43	13,86	171,91	202,78
100% ETc	190,61	218,66	3,44	8,31	207,05	240,97

Fonte: Autora (2024).

### 3.2. Produtividade das sementes e óleo

As lâminas de irrigação influenciaram na produtividade das sementes de canola ( $P < 0,01$ ) nos dois ciclos de cultivo. No 1º Ciclo (2021), a aplicação de 100% da evapotranspiração de cultura (ETc) resultou em um aumento expressivo de 660,22% na produtividade das sementes (P), atingindo 3.364,62 kg ha<sup>-1</sup>, em comparação, ao cultivo sem irrigação que alcançou apenas 509,62 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 33). O ponto máximo da equação de ajuste sugere, dentro dos tratamentos estudados, a irrigação de 100% como a opção mais vantajosa para otimizar a produtividade no 1º Ciclo (2021).

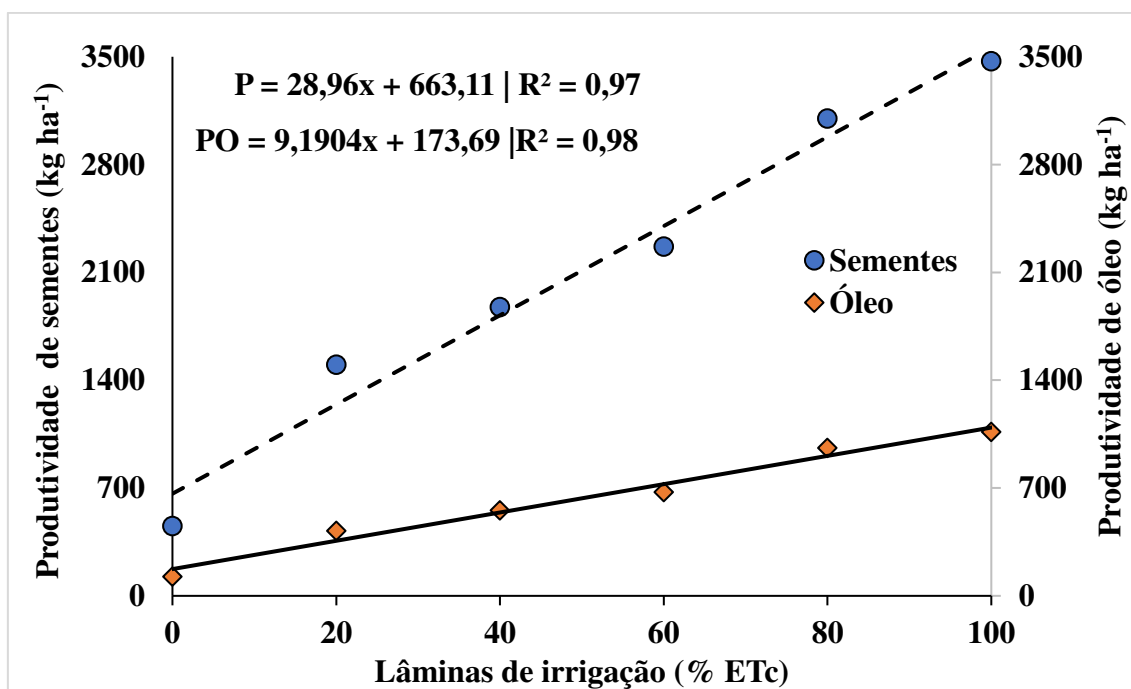
Figura 33 - Produtividade das sementes (kg ha<sup>-1</sup>) (A) e produtividade de óleo (kg ha<sup>-1</sup>) (B) de canola sob lâminas de irrigação (% ETc), no 1º Ciclo (2021).



Fonte: Autora (2024).

No 2º Ciclo (2022), a aplicação de 100% da evapotranspiração de cultura (ETc) resultou em um aumento expressivo de 536,73% na produtividade das sementes (P), atingindo 3.559,11 kg ha<sup>-1</sup>, em comparação, ao cultivo sem irrigação que alcançou apenas 663,11 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 34). A equação de ajuste indica um incremento percentual médio de 579,2 com cada aumento no nível de irrigação, quando comparado ao nível de irrigação anterior.

Figura 34 - Produtividade das sementes (kg ha<sup>-1</sup>) (A) e produtividade de óleo (kg ha<sup>-1</sup>) (B) de canola sob lâminas de irrigação (% ETc), no 2º Ciclo (2022).



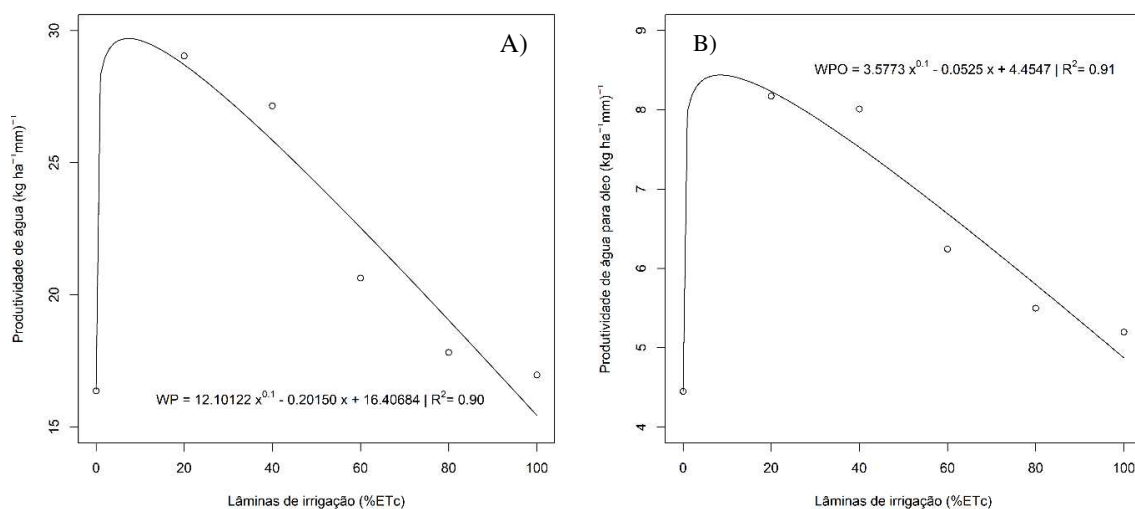
Fonte: Autora (2024).

As lâminas de irrigação demonstraram uma influência significativa na produtividade de óleo de canola ( $P < 0,01$ ) ao longo de ambos os ciclos de cultivo. No 1º ciclo, observou-se um aumento progressivo na produtividade de óleo (PO) em relação às diferentes lâminas de irrigação. Os incrementos foram de 239%, 55%, 25%, 12% e 4,5% à medida que a irrigação supria 20% a mais a ETC até atingir 100% da demanda evapotranspirativa (Figura 33). Já no 2º ciclo, verificou-se um aumento percentual de 183,80 em relação ao nível de irrigação precedente (Figura 34).

### 3.3. Produtividade de Água e óleo

A irrigação influenciou significativamente na produtividade de água para as sementes (WP) e para o óleo (WPO) ( $P < 0,01$ ) nos dois anos de estudo. No 1º Ciclo (2022) a produtividade de água de canola aumentou cerca de 75% ao usar 20% da ETC (26,16 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), quando comparada ao cultivo sem irrigação (Figura 35). Enquanto a produtividade de água para o óleo apresentou um incremento de 85% no cultivo com 20% da ETC em relação ao cultivo sem irrigação (Figura 35).

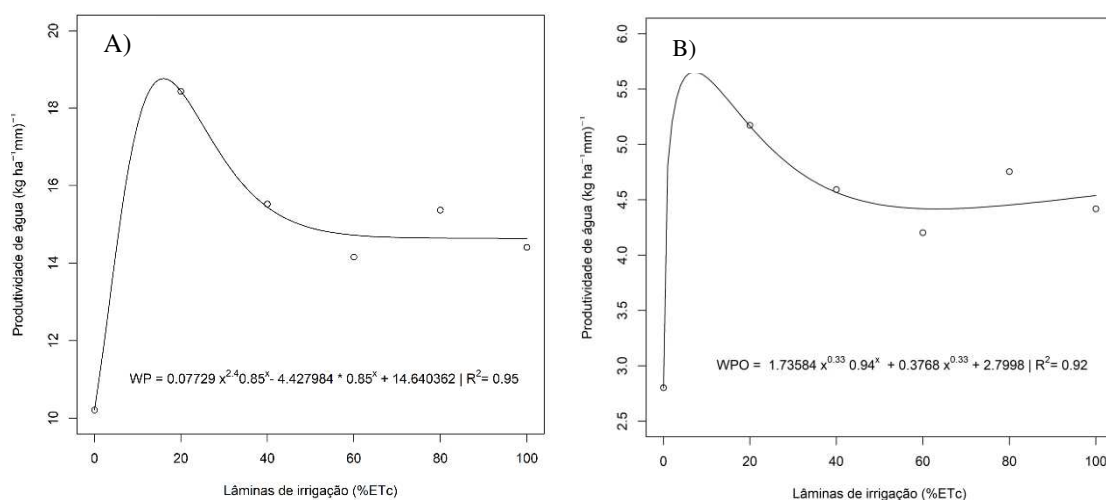
Figura 35 - Produtividade de água para as sementes (WP) (A) e produtividade de água para o óleo (WPO), (B), ambas relacionadas à cultura de canola e variando sob diferentes lâminas de irrigação (%ETC) no 1º Ciclo de cultivo (2022).



Fonte: Autora (2024).

No 2º Ciclo (2023) a produtividade de água de canola aumentou cerca de 80% ao usar 20% da ETc ( $18,44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), quando comparada ao cultivo sem irrigação ( $10,21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) (Figura 36). Já WPO apresentou um incremento de 36% no cultivo com 20% da ETc ( $3,81 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) em relação ao cultivo sem irrigação ( $2,80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) (Figura 36).

Figura 36 - Produtividade de água para as sementes (WP), à esquerda, e produtividade de água para o óleo (WPO), à direita, ambas relacionadas à cultura de canola e variando sob diferentes lâminas de irrigação (%ETc) no 2º Ciclo de cultivo (2023)



Fonte: Autora (2024).

### 3.4. Composição das sementes

A exploração da composição das sementes de canola em resposta a diferentes tratamentos de irrigação, vinculados à evapotranspiração da cultura (ETc), em diferentes anos de estudos, encontra-se detalhada na Tabela 5. Nos dois anos de cultivos observou-se uma discreta variação no teor de umidade das sementes, não atingindo significância estatística ( $P < 0,05$ ).

Tabela 5. Composição média aproximada das sementes de canola cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação, calculadas com base na Evapotranspiração da cultura (ETc), expressa em relação à base seca (% db) em dois anos de cultivo, 2022 e 2023.

1º CICLO (2023)		TRATAMENTO DE IRRIGAÇÃO (ETc)				
<i>Composição média</i>	Sem irrigação	20%	40%	60%	80%	100%
<i>Umidade (% db)</i>	9,66	9,87	8,54	9,45	9,57	10,07
<i>Óleo (% db)</i>	26,83	28,21	29,49	30,23	30,94	30,65
<i>Proteína (% db)</i>	18,13	17,88	18,04	19,67	21,27	24,12
<i>Cinzas (% db)</i>	4,76	4,43	4,13	4,48	4,52	4,81
<i>Carboidratos e fibras</i>	50,28	49,49	48,34	45,63	43,27	40,42

2º CICLO (2023)		TRATAMENTO DE IRRIGAÇÃO (ETc)				
<i>Composição média</i>	Sem irrigação	20%	40%	60%	80%	100%
<i>Umidade (% db)</i>	11,51	12,02	11,16	9,18	8,45	9,65
<i>Óleo (% db)</i>	27,46	28,10	29,61	29,82	30,85	30,65
<i>Proteína (% db)</i>	19,70	20,45	20,08	21,59	23,20	24,30
<i>Cinzas (% db)</i>	4,67	4,47	4,47	4,33	4,66	4,95
<i>Carboidratos e fibras</i>	48,17	46,99	45,84	44,26	41,29	40,10

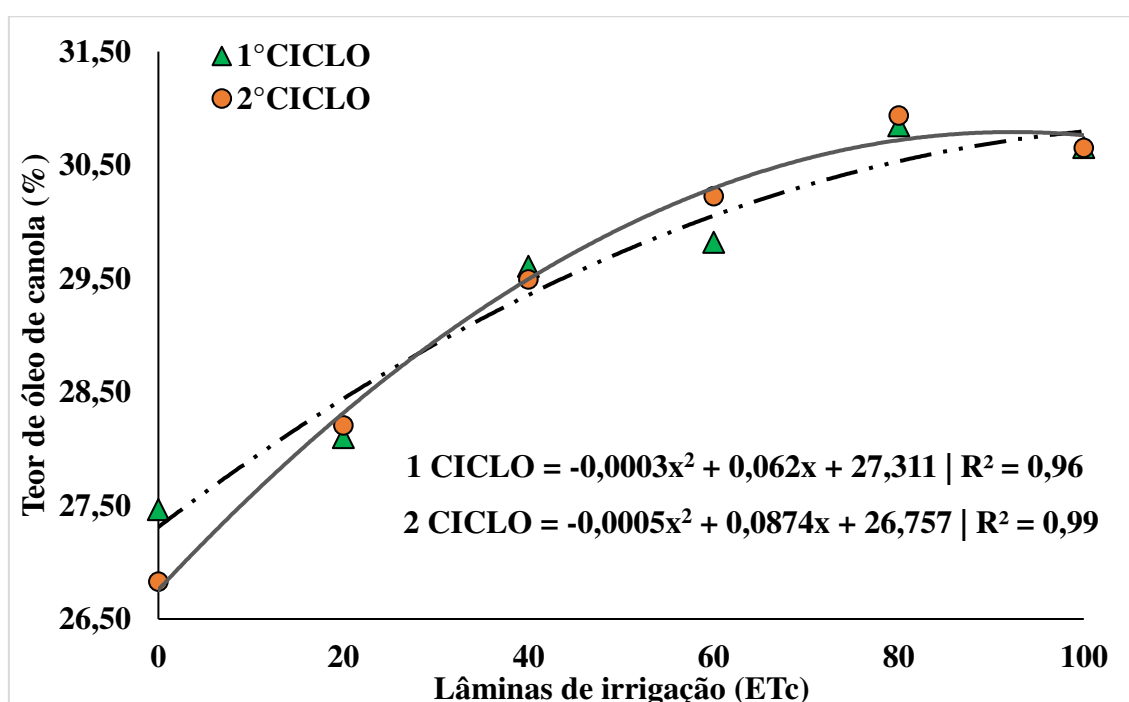
Fonte: Autora (2024).

Notavelmente, nos dois anos de cultivo, o teor de óleo foi significativamente influenciado pelas lâminas de irrigação, sendo discutidos em detalhes na seção 3.4. Em contraste, a concentração de proteína nas sementes não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos investigados em nenhum dos anos estudados ( $P < 0,05$ ). No que diz respeito às cinzas das sementes, não foram identificadas diferenças significativas ( $P < 0,05$ ). Os resultados destacam a sensibilidade da composição do óleo das sementes de canola às práticas de irrigação.

### 3.5. Óleo de Canola

A irrigação expressou influência significativa no teor de óleo de canola ( $P < 0,01$ ) nos dois ciclos de cultivo. No 1º Ciclo, o ápice desse aumento ocorreu, considerando as lâminas de irrigação estudadas, quando a cultura foi irrigada a 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), implicando em 30,51 % de óleo (Figura 37). No 2º Ciclo, ao derivar a equação, encontrou-se o ponto máximo de teor de óleo ao irrigar com 87,4 % ETc implicando em um teor de óleo de 30,60% (Figura 37).

Figura 37 - Porcentagem média de óleo em sementes de canola cultivado sob lâminas de irrigação (%) no 1º e 2º ciclo de cultivo.



Fonte: Autora (2024).

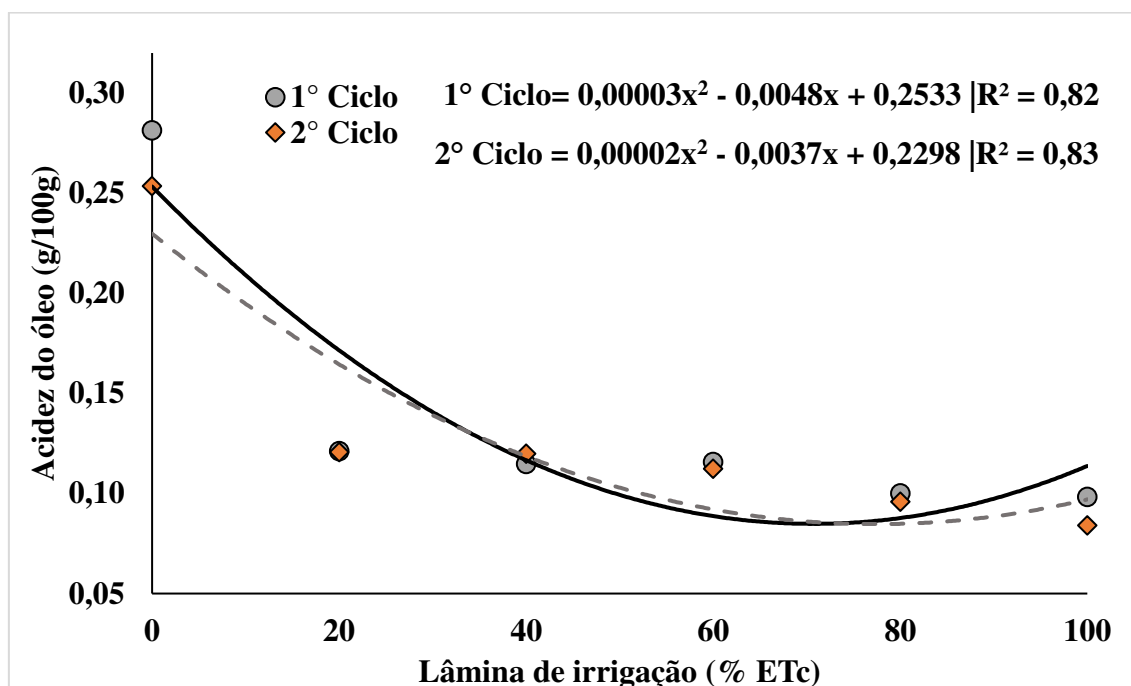
Ao ser aplicada lâmina de irrigação referente a 20% da ETc observou-se um aumento de 112% no teor do óleo (2022) e 154% (2023), evidenciando como mesmo um volume pequeno de água, pode inferir em maior teor de acúmulo de óleo na semente.

### 3.6. Acidez óleo de canola

O índice de acidez do óleo de canola apresenta uma redução de aproximadamente 245% (2022) e 284% (2023) quando as plantas são submetidas a uma irrigação completa de 100%, em comparação com a produção de óleo derivado de plantas não irrigadas (P

<0,01) (Figura 38). Ao derivar a equação de ajuste nas equações verifica-se que na irrigação a 80% ETc (2022) e 92,5% ETc (2023) têm-se os menores valores de acidez.

Figura 38 - Índice de Acidez (A) em sementes de canola cultivado sob lâminas de irrigação (%) nos diferentes ciclos de cultivo. Leg: 1º Ciclo (2022) e 2º Ciclo (2023)



Fonte: Autora (2024).

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Utilização de água pela cultura da canola

A utilização de água pela cultura da canola durante todo o cultivo, sob condições ideais de irrigação (100% ETc), foi quantificada em média de 224 mm, correlacionando-se diretamente com os resultados da evapotranspiração média dos anos estudados, cerca de 2,37 mm por dia. O valor médio de 224 mm assemelha-se ao encontrado por Katuwal et al. (2020), cuja média foi 262 mm, na região semiárida das Grandes Planícies do Sul dos EUA, em franco-argiloso, com o tratamento de irrigação pleno. Vale ressaltar que as necessidades hídricas das culturas variam de acordo com ambientes específicos e potencial de rendimento da canola (Secchi et al., 2023).

### 4.2. Produtividade das sementes e óleo

Os resultados deste estudo destacaram a influência significativa das lâminas de irrigação nas características relacionadas a produção da canola. A implementação da

irrigação de 100% da ETc resultou em alto incremento na produtividade da cultura em comparação com o cultivo não irrigado nos dois anos de estudo (Figura 33 e 34). Esse resultado corrobora com a observação de que o estresse hídrico provoca uma redução mais significativa na produtividade das sementes quando a cultura é exposta à escassez de água por um período prolongado, conforme discutido por (Secchi et al., 2023), e observados em pesquisas de por (Hergert et al., 2016; Mohtashami et al., 2020).

A produtividade média das sementes de canola, no cultivo com 20% da evapotranspiração da cultura (ETc) variou de 454 (2022) e 391,05 kg ha<sup>-1</sup> (2023), enquanto na aplicação de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) os valores médios foram de 3.509,04 kg ha<sup>-1</sup> (2022) e 3.470,13kg ha<sup>-1</sup> (2023). Essa elevada produtividade das sementes identificada supera substancialmente a média das lavouras brasileiras, estabelecida em aproximadamente 1.743 kg ha<sup>-1</sup>, conforme relatório da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2023). No entanto, é pertinente ressaltar que a produtividade elevada também é resultado das características genótípicas verificadas em outros híbridos de canola, como também alguns cultivados na mesma região e época de estudo (Lus *et al.*, 2014; Hergert et al. 2016), variando de aproximadamente 440 a 3.280 kg ha<sup>-1</sup> sob lâminas de irrigações.

No contexto da produtividade de óleo de canola, a irrigação demonstrou ser um fator de alta significância estatística ( $P < 0,01$ ). O comportamento da produtividade de óleo seguiu o comportamento da produtividade das sementes, cuja irrigação a 100 % da evapotranspiração da cultura (100% ETc) resultou em um aumento de 785,60 % (2022) e 629,12 % (2023) em comparação com o cultivo sem irrigação (Figura 33 e 34).

A queda na produtividade e, conseqüentemente, na produção de óleo de canola, é atribuída à sensibilidade à deficiência hídrica desde o início da floração até o término do enchimento das sementes em condições de cultivo sem irrigação (Mohtashami *et al.*, 2020). Isso ocorre devido a sensibilidade do estágio reprodutivo, como a retenção floral, o desenvolvimento dos botões florais até a formação das síliquas e a transferência de assimilação das folhas e vagens para a fixação das sementes em condições de déficit hídrico (Jalil e Ansari, 2020; Katuwal *et al.*, 2020). Esses eventos impactam diretamente na produção das sementes e no aumento na demanda de evapotranspiração da cultura (ETc).

### 4.3. Produtividade de água

A irrigação influenciou significativamente na produtividade de água para as sementes (WP) e para o óleo (WPO) ( $P < 0,01$ ). Nas áreas onde as precipitações totais são bem distribuídas, variando entre 300 e 500mm, as necessidades hídricas da canola são geralmente atendidas de forma adequada. Nesses casos, a irrigação não desempenha um papel essencial na produtividade da água, ao contrário do que ocorre em regiões secas (Mohtashami *et al.*, 2020). Contudo, ao utilizar a irrigação em climas com invernos secos, como é o caso da região de Viçosa-MG, classificada como "Cwa" (Alvares *et al.*, 2013), tanto a produção quanto a produtividade da água e de óleo podem apresentar um aumento significativo.

A WP da canola aumentou cerca de 75% (2022) e 80% (2023) ao usar a irrigação com 20% da ETc (28,71 e 18,44 g ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente), quando comparada ao cultivo sem irrigação. Enquanto a otimização da WPO foi alcançada ao irrigar a 20% 8,23 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (2022) e 3,81 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (2023) da evapotranspiração da cultura (ETc). Os resultados obtidos sugerem que mesmo uma aplicação reduzida, mas regular, de água pode ser potencialmente suficiente para desencadear respostas adaptativas eficazes na cultura.

Essas respostas adaptativas, em geral, ocorrem em níveis morfológicos, fisiológicos e moleculares, como o alongamento do sistema radicular em direção a áreas mais úmidas do solo, o fechamento parcial dos estômatos e a modificação do metabolismo para se ajustar as condições existentes (Fang e Xiong, 2015). Sob condições adversas, as células vegetais da canola, por exemplo coordenam as suas vias metabólicas para produzir agentes antiestresse (Viana *et al.*, 2022).

O cultivo irrigado a 20% da evapotranspiração da cultura (ETc) recebeu uma contribuição pluviométrica efetiva média de 6,60 mm (1º Ciclo) e 25,13 mm (2º Ciclo), como também as lâminas de irrigação de estabelecimento, que totalizaram uma utilização total de água de 57,72 mm (2022) e 82,86 (2023) (Tabela 4). Conforme observado por Hergert *et al.* (2016) a canola pode ser uma escolha viável para a irrigação com déficit, contanto que seja estabelecido um estande inicial robusto de plantas e haja uma precipitação média efetiva.

Semelhante a este estudo, Faraji *et al.* (2009) ressaltam que a irrigação utilizando uma pequena quantidade de água em momentos críticos das fases reprodutivas, é uma prática eficiente para minimizar o estresse hídrico e aumentar a produtividade da canola.

Esses resultados destacam a importância da gestão adequada da irrigação, mesmo em condições com estratégias de déficit moderado, para promover o desempenho da cultura.

#### **4.4. Composição das sementes**

A composição aproximada das sementes de canola indica que o teor de óleo está abaixo da faixa relatada na literatura para esta espécie (Mohtashami *et al.*, 2020; Pavlista *et al.*, 2016). De forma geral, as respostas ao estresse abiótico são complexas e específicas para cada condição (Viana *et al.*, 2022). A discussão sobre o óleo de canola será aprofundada no item 4.4.

A irrigação não influenciou de forma significativa ( $P>0,05$ ) na composição dos carboidratos e cinzas nas sementes de canola, mesmo em diferentes lâminas de irrigação. Provavelmente porque os carboidratos, que constituem uma parcela relativamente pequena nas sementes de canola, são predominantemente encontrados na casca e nos cotilédones (Goyal *et al.*, 2021). Quanto ao teor de cinzas, os resultados observados foram semelhantes foram relatados por Sánchez *et al.* (2017), onde a cinzas também não teve resposta significativa a 5% de probabilidade de erro.

A concentração de proteína nas sementes não resultou em diferenças significativas em resposta às variações na irrigação ( $P>0,05$ ). Contudo, essa variável expressa o conteúdo de semente inteira de canola condizente com o relatado na literatura, cerca de 17–26% de proteínas (Goyal *et al.*, 2021). Os resultados encontrados nesta pesquisa sugerem uma estabilidade na composição de proteínas das sementes inteira de canola, independentemente das mudanças da lâmina de irrigação, fornecendo uma perspectiva nova sob influência específica desse fator sobre a qualidade das sementes.

Se o objetivo do cultivo é a produção de proteína a base de canola, é improvável que o manejo da água tenha um impacto significativo na concentração de proteína. No entanto, é possível que a farinha de canola desengordurada, que têm o potencial de até 50% de proteína em base seca (Goyal *et al.*, 2021), apresente resultados distintos, devido a variação no teor de óleo encontrada no estudo. É importante notar que essa variável não foi avaliada na presente pesquisa.

Foi constatada uma pequena variação no teor de umidade das sementes de canola, atribuída à maturação pouco homogênea da cultura. Essa heterogeneidade seria uma problema caso as sementes estivessem com umidade elevada, pois seriam suscetíveis a amassamento durante a colheita, enquanto as sementes com umidade muito baixa,

estariam propensas à deiscência natural e a perdas por quebra durante a operação de colheita (Rosa e Garrafa, 2009).

#### 4.5. Óleo de Canola

O teor de óleo variou de 27 a 30,5% dependendo do nível de irrigação. A maior quantidade de percentual de óleo das sementes foi obtida na lamina de irrigação de 100% ETc, em concordância com estudos anteriores (Mohtashami et al., 2020; Pavlista et al., 2016), cuja a irrigação total também expressou os melhores resultados para o teor de óleo. Contudo, é importante observar que o teor de óleo ficou abaixo do valor relatado por esses autores (>33%). Essas diferenças podem ser atribuídas as características fenotípicas e genotípicas do híbrido utilizado e nas condições edafoclimáticas da região de estudo.

Além disso, as respostas ao estresse abiótico são complexas e altamente específicas para cada contexto, como observado por Viana et al. (2022). A complexidade decorre da regulação de diferentes genes e da subsequente ativação de vias metabólicas distintas, destacando a natureza intrincada e adaptativa das respostas das plantas a condições adversas.

Adicionalmente, a capacidade de campo de retenção de água do solo no estudo, pode ter estendido os períodos de disponibilidade de água para o sistema radicular efetivo da canola. Isso contribuiu para um melhor crescimento e produção de biomassa no solo, como descrito por (Tfwala et al., 2020). A canola quando sob estresse durante a fase reprodutiva ou durante a estação de crescimento, extrai o máximo de água do solo estendendo suas raízes (Katuwal et al., 2020).

Apesar do teor de óleo ligeiramente inferior, 30,5% representam uma porcentagem bastante atrativa para o cultivo da canola, especialmente quando se considera o foco na produção de óleo. Isso se justifica pelo alto valor agregado do óleo de canola no mercado. Pois o óleo de canola é comumente conhecido por maior quantidade de ácidos graxos monoinsaturados, quantidade moderada de ácidos graxos poliinsaturados e conteúdo substancial de tocoferóis, fitosteróis e ácidos graxos ômega<sup>-3</sup> (Goyal et al., 2021), promovendo benefícios alimentícios aos consumidores.

É fundamental salientar que o presente estudo não incluiu uma análise da viabilidade econômica, o que significa que não houve uma determinação dos aspectos de risco e retorno econômico relacionados ao cultivo irrigado na região. No entanto, os

resultados agronômicos da cultura sugerem um alto padrão de produtividade, destacando assim a importância de conduzir mais pesquisas nesse campo e região.

#### **4.6. Acidez óleo de canola**

Este estudo representa uma das primeiras iniciativas de comparar a acidez do óleo em cultivos sujeitos a diferentes lâminas de irrigação. O índice de acidez, é um parâmetro essencial na avaliação do estado de conservação de óleos, e alcançou seu ponto mais alto no cultivo sem irrigação, registrando 0,25 (2022) e 0,23 (2023) g/100g de ácido oleico. À medida que o índice de acidez aumenta, a probabilidade de deterioração do produto cresce, impactando diretamente a qualidade e a conservação dos óleos e gorduras (Kwiecien, Hájek e Skopal, 2009). Assim, a ausência de irrigação já sugere uma maior propensão à deterioração do produto logo nas primeiras semanas indicando possíveis reduções na qualidade das sementes pós-colheita.

### **5. CONCLUSÕES**

A lâmina de irrigação de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) no cultivo da canola é a opção mais viável na região, essa conclusão se fundamenta nos resultados obtidos ao longo de dois anos de cultivo, onde observa-se uma produtividade média das sementes (P) entre 3.364,62 kg ha<sup>-1</sup> (2022) e 3.559,11 kg ha<sup>-1</sup> (2023), uma produtividade média de óleo (PO) de 1.074,62 kg ha<sup>-1</sup> (2022) e 1.064,55 kg ha<sup>-1</sup> (2023).

A análise da composição das sementes destacou a sensibilidade do teor de óleo às lâminas de irrigação, sendo menor com déficit de irrigação. Além disso, a irrigação com 100% ETc resulta em uma redução significativa no índice de acidez do óleo, evidenciando a influência positiva da irrigação adequada na qualidade do óleo de canola já na extração.

## REFERÊNCIAS

- AOCS, F. D. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society Champaign: A.O.C.S., 1998. (Nota técnica).
- ASGARI, A.; DARZI-NAFTCHALI, A.; NADI, M.; SABERALI, S. F. Improvement in canola yield and growth indices and water-use efficiency with subsurface drainage in a humid climate. **Paddy and Water Environment**, v. 19, n. 1, p. 23–33, 2021.
- CHAGANTI, V. N.; GANJEGUNTE, G.; NIU, G.; ULERY, A.; ENCISO, J. M.; FLYNN, R.; MEKI, N.; KINIRY, J. R. Yield response of canola as a biofuel feedstock and soil quality changes under treated urban wastewater irrigation and soil amendment application. **Industrial Crops and Products**, v. 170, p. 113659, out. 2021.
- CONFORTIN, T. C.; TODERO, I.; LUFT, L.; UGALDE, G. A.; MAZUTTI, M. A.; OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L.; KNIES, A. E.; ZABOT, G. L.; TRES, M. V. Journal of Environmental Chemical Engineering Oil yields , protein contents , and cost of manufacturing of oil obtained from different hybrids and sowing dates of canola. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 2, p. 102972, 2019.
- FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 72, n. 4, p. 673–689, 22 fev. 2015.
- FARD, N. S.; ABAD, H. H. S.; RAD, A. H. S.; HERAVAN, E. M.; DANESHIAN, J. Effect of drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. **Industrial Crops and Products**, v. 114, p. 87–92, abr. 2018.
- FARIAS, D. B. DOS S.; LUCAS, A. A. T.; MOREIRA, M. A.; NASCIMENTO, L. F. DE A.; FILHO, JOSÉ C. F. DE S. Vista do Cobertura do solo e adubação orgânica na produção de alface. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, p. 174–176, 2017.
- FENG, J.; HUSSAIN, H. A.; HUSSAIN, S.; SHI, C.; CHOLIDAH, L.; MEN, S.; KE, J.; WANG, L. Optimum Water and fertilizer management for better growth and resource use efficiency of rapeseed in rainy and drought seasons. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 2, 2020.
- FUZARO, L.; XAVIER, N. L.; CARVALHO, F. J.; NERY, F. A. N.; CARVALHO, S. M.; ANDALÓ, V. <b>Influence of pollination on canola seed production in the Cerrado of Uberlândia, Minas Gerais State, Brazil. Acta Scientiarum. **Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 39315, 2018.
- GOYAL, A.; TANWAR, B.; SIHAG, M. K.; KUMAR, V.; SHARMA, V.; SONI, S. **Oilseeds: Health Attributes and Food Applications**. Singapore: Springer Singapore, 2021.
- HERGERT, G. W.; MARGHEIM, J. F.; PAVLISTA, A. D.; MARTIN, D. L.; SUPALLA, R. J.; ISBELL, T. A. Yield, irrigation response, and water productivity of

deficit to fully irrigated spring canola. **Agricultural Water Management**, v. 168, p. 96–103, abr. 2016.

JALIL, S. U.; ANSARI, M. I. **The Plant Family Brassicaceae**. Singapore: Springer Singapore, 2020.

KATUWAL, K. B.; CHO, Y.; SINGH, S.; ANGADI, S. V.; BEGNA, S.; STAMM, M. Soil water extraction pattern and water use efficiency of spring canola under growth-stage-based irrigation management. **Agricultural Water Management**, v. 239, p. 106232, set. 2020.

KWIECIEN, J.; HÁJEK, M.; SKOPAL, F. The effect of the acidity of rapeseed oil on its transesterification. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 23, p. 5555–5559, dez. 2009.

LUS, E. P.; JACSON, Z.; FRED, D. DA S.; LUCIANA, B. P.; DENISE, C. F. DOS S. D.; WILLIAN, S. B.; GILBERTO, O. T. Evaluation of some hybrids of canola in function of sowing dates in Viosa, MG, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 32, p. 2488–2494, 4 ago. 2014.

MOHTASHAMI, R.; MOVAHHEDI DEHNAVI, M.; BALOUCHI, H.; FARAJI, H. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. **Agricultural Water Management**, v. 232, p. 106046, abr. 2020.

PAVLISTA, A. D.; HERGERT, G. W.; MARGHEIM, J. M.; ISBELL, T. A. Growth of spring canola (*Brassica napus*) under deficit irrigation in Western Nebraska. **Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 635–640, maio 2016.

PEREIRA, L. S., PAREDES, P., HUNSAKER, D. J., LÓPEZ-URREA, R., & MOHAMMADI SHAD, Z. (2021). Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. **Agricultural Water Management**, 243, 106466. doi:10.1016/j.agwat.2020.106466

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>

RAHIMI-MOGHADDAM, S.; EYNI-NARGESEH, H.; AHMADI, S. A. K.; AZIZI, K. Towards withholding irrigation regimes and drought-resistant genotypes as strategies to increase canola production in drought-prone environments: A modeling approach. **Agricultural Water Management**, v. 243, n. August 2020, p. 106487, 2021.

ROSA, L. C. DA; GARRAFA, M. Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola: subprocesso colheita da canola. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 1, p. 63–73, mar. 2009.

SÁNCHEZ, R. J.; MATEO, C. M.; FERNÁNDEZ, M. B.; NOLASCO, S. M. Bidimensional modeling applied to oil extraction kinetics of microwave-pretreated canola seeds. **Journal of Food Engineering**, v. 192, p. 28–35, jan. 2017.

SECCHI, M. A.; FERNANDEZ, J. A.; STAMM, M. J.; DURRETT, T.; PRASAD, P. V. V.; MESSINA, C. D.; CIAMPITTI, I. A. Effects of heat and drought on canola (*Brassica napus* L.) yield, oil, and protein: A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 293, p. 108848, mar. 2023.

SILVA, L. F. L. E.; GONÇALVES, W. M.; MALUF, W. R.; RESENDE, L. V.; SARMIENTO, C. M.; LICURSI, V.; MORETTO, P. Energy balance of biodiesel production from canola. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. 1–5, 2017.

SO, G. C.; MACDONALD, D. G. Kinetics of oil extraction from canola (rapeseed). **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 64, n. 1, p. 80–86, fev. 1986.

STATISTA. **Consumption of vegetable oils worldwide from 2013/14 to 2022/2023, by oil type (in million metric tons)**. Disponível em:

<<https://www.statista.com/statistics/263937/vegetable-oils-global-consumption/>>.

Acesso em: 6 jan. 2024.

TFWALA, C. M.; HAKA, I. B. U.; RENSBURG, L. D. VAN; PREEZ, C. C. DU. Influence of soils and different phases of reproductive growth stage on transpiration efficiency of irrigated canola. **Irrigation and Drainage**, v. 69, n. 4, p. 891–902, 7 out. 2020.

VIANA, V. E.; ARANHA, B. C.; BUSANELLO, C.; MALTZAHN, L. E.; PANOZZO, L. E.; OLIVEIRA, A. C. DE; ROMBALDI, C. V.; PEGORARO, C. Metabolic profile of canola (*Brassica napus* L.) seedlings under hydric, osmotic and temperature stresses. **Plant Stress**, v. 3, p. 100059, jan. 2022.

WU, W.; MA, B. L.; WHALEN, J. K. **Enhancing Rapeseed Tolerance to Heat and Drought Stresses in a Changing Climate: Perspectives for Stress Adaptation from Root System Architecture**. Elsevier Ltd, 2018. v. 151