

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
***CAMPUS* ERECHIM**
CURSO DE AGRONOMIA

ELOÍSA CARNIEL GUIDINI

**SELETIVIDADE DE ATRAZINE + MESOTRIONE APLICADOS EM DIFERENTES
ÉPOCAS NA CULTURA DA CANOLA**

ERECHIM

2024

ELOÍSA CARNIEL GUIDINI

**SELETIVIDADE DE ATRAZINE + MESOTRIONE APLICADO EM DIFERENTES
ÉPOCAS NA CULTURA DA CANOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. D. Sc. Leandro Galon

ERECHIM

2024

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Guidini, Eloísa Carniel

Seletividade de atrazine + mesotrione aplicados em diferentes épocas na cultura da canola / Eloísa Carniel Guidini. -- 2024.

32 f.

Orientador: Prof. D. Sc. Leandro Galon

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Erechim,RS, 2024.

I. Galon, Leandro, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

ELOÍSA CARNIEL GUIDINI

**SELETIVIDADE DE ATRAZINE + MESOTRIONE APLICADO EM DIFERENTES
ÉPOCAS NA CULTURA DA CANOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 20/06/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Leandro Galon – UFFS
Orientador

Prof^a. Dr^a. Paola Mendes Milanesi - UFFS
Avaliadora

Prof^a. Dr^a. Sandra Maria Maziero - UFFS
Avaliadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde e determinação para que meus objetivos fossem alcançados.

Aos meus pais, Cleia e Valdecir, que não mediram esforços para que eu concluísse meus estudos, agradeço por todo apoio e amor, ao meu irmão André, por não me deixar sozinha nessa jornada.

Ao meu orientador, Leandro Galon, por toda paciência, apoio e tempo dedicado para que eu pudesse concluir esta etapa.

Aos demais professores da Universidade Federal da Fronteira Sul, pela troca de conhecimento e experiências durante estes 5 anos.

Aos meus amigos e colegas, que tornaram essa fase mais leve, agradeço pelo companheirismo e por todos os momentos vividos durante esses anos, tenho certeza que terão um futuro lindo pela frente.

“O período de maior ganho em
conhecimento e experiência é o período mais
difícil da vida de alguém.”

Dalai Lama

RESUMO

As plantas daninhas, especialmente nabo e azevém, acarretam perdas na produtividade e na qualidade de grãos colhidos da canola quando não controladas de forma adequada. Na atualidade são escassos os herbicidas registrados para o controle de plantas daninhas infestantes da canola. Diante disso, objetivou-se com o trabalho avaliar a seletividade da mistura comercial composta por atrazine + mesotrione aplicados em diferentes épocas e doses anteriormente a semeadura da canola. Os experimentos foram conduzidos à campo, em dois anos (2022 e 2023), em delineamento de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial $2 \times 6 + 1 + 1$, com quatro repetições. Os tratamentos utilizados nos dois experimentos foram: testemunha capinada, doses de atrazine + mesotrione (250 + 25; 500 + 50; 750 + 75 g ha⁻¹) aplicadas em isolado ou associadas a clethodim (108 g ha⁻¹). O atrazine + mesotrione foi aplicado aos 10 e 5 dias antecedendo a semeadura (DAS) e o clethodim em pós-emergência quando a canola estava no estágio de 3 a 4 folhas. O herbicida atrazine + mesotrione quando aplicado na maior dose, tanto em isolado quanto em associação com o clethodim ocasionou elevada fitotoxicidade ao híbrido de canola Nuola 300. O atrazine + mesotrione aplicado nas doses 500 + 50 e 750 + 75 g ha⁻¹, aos 10 DAS apresentaram efeitos negativos nas variáveis fisiológicas da canola. O uso de atrazine + mesotrione aplicado 5 dias antes de semeadura da canola na dose de 500 + 50 g ha⁻¹ e o clethodim em pós-emergência do híbrido Nuola 300 foi o tratamento que apresentou o melhor resultado para a produtividade da cultura. A mistura de atrazine + mesotrione quando aplicado na menor dose 250 + 25 g ha⁻¹, em isolado ou em associação ao herbicida clethodim apresenta seletividade a cultura da canola.

Palavras-chave: *Brassica napus* L. var. *oleifera*, mistura de herbicidas, injúrias.

ABSTRACT

Weeds, especially wild radish and ryegrass, cause losses in productivity and the quality of harvested canola grains when not adequately controlled. Currently, there are few registered herbicides for controlling weeds infesting canola. In light of this, the objective of the study was to evaluate the selectivity of the commercial mixture composed of atrazine + mesotrione applied at different times and doses before canola sowing. The experiments were conducted in the field over two years (2022 and 2023) in a randomized block design, arranged in a 2 x 6 + 1 + 1 factorial scheme, with four repetitions. The treatments used in both experiments were: weeded control, doses of atrazine + mesotrione (250 + 25; 500 + 50; 750 + 75 g ha⁻¹) applied alone or in combination with clethodim (108 g ha⁻¹). Atrazine + mesotrione was applied at 10 and 5 days before sowing (DBS), and clethodim was applied in post-emergence when canola was at the 3 to 4 leaf stage. The herbicide atrazine + mesotrione, when applied at the highest dose, both alone and in combination with clethodim, caused high phytotoxicity to the canola hybrid Nuola 300. Atrazine + mesotrione applied at doses of 500 + 50 and 750 + 75 g ha⁻¹, 10 days before sowing (DBS), showed negative effects on the physiological variables of canola. The use of atrazine + mesotrione applied 5 days before canola sowing at a dose of 500 + 50 g ha⁻¹ and clethodim post-emergence on the Nuola 300 hybrid was the treatment that presented the best result for crop productivity. The mixture of atrazine + mesotrione, when applied at the lowest dose of 250 + 25 g ha⁻¹, alone or in combination with the herbicide clethodim, showed selectivity to the canola crop.

Keywords: *Brassica napus* L. var. *oleifera*, herbicide mixture, injuries.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura média (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período de condução dos experimentos nos anos de 2022 e 2023. Fonte: INMET, (2024).....	14
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos utilizados nos experimentos, respectivas doses, adjuvante e modalidade de aplicação, nos anos agrícolas de 2022 e 2023. UFFS, <i>Campus</i> Erechim/RS	16
Tabela 2 - Condições ambientais no momento da aplicação dos herbicidas em pré e pós-emergência do híbrido de canola Nuola 300	17
Tabela 3 - Fitotoxicidade (%) de herbicidas aplicados no híbrido de canola Nuola 300, cultivado nos anos de 2022 e 2023. UFFS, <i>Campus</i> Erechim/RS	19
Tabela 4 - Concentração interna de CO ₂ (C _i , μmol mol ⁻¹), taxa fotossintética (A, μmol m ⁻² s ⁻¹) e eficiência de carboxilação (EC) em plantas do híbrido de canola Nuola 300 em função da aplicação de herbicidas em diferentes épocas aos 10 e 5 DAS (dias antes da semeadura), nos anos agrícolas 2022 e 2023. UFFS, <i>Campus</i> Erechim/RS	21
Tabela 5 - condutância estomática (g _s , mol m ⁻² s ⁻¹), taxa de transpiração (E, mol m ⁻² s ⁻¹) e eficiência de uso da água (EUA) em plantas do híbrido de canola Nuola 300 em função da aplicação de herbicidas, nos anos agrícolas 2022 e 2023. UFFS, <i>Campus</i> Erechim/RS	23
Tabela 6 - Número síliquas por planta (NSP), número de grãos por planta (NGP) e número de grãos por síliqua (NGS) do híbrido de canola Nuola 300 em função da aplicação de herbicidas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023. UFFS, <i>Campus</i> Erechim/RS	26
Tabela 7 - Peso de mil grãos (PMG - g) e produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) do híbrido de canola Nuola 300 em função da aplicação de herbicidas nos anos de 2022 e 2023. UFFS, <i>Campus</i> Erechim/RS	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MATERIAL E MÉTODOS	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), pertence à família *Brassicaceae*, surgiu do melhoramento genético da colza, através da diminuição dos teores de ácido erúico e glicosinatos, afim de melhorar sua palatabilidade (Estevez et al., 2014). A canola é a terceira oleaginosa mais importante do mundo em relação a quantidade de grãos produzidos, ficando somente atrás da soja e da palma de óleo (USDA, 2024). A canola pode ser utilizada como forragem verde, farelo proteico para ração animal, bem como matéria-prima para extração de óleo, este que pode ser usado para consumo humano, mas também na produção de biodiesel (Brandler et al., 2021).

Nos últimos anos, a canola tornou-se uma opção interessante para ser utilizada como rotação de culturas podendo ser cultivada em substituição ao trigo e demais cereais de inverno. Além disso, a cultura auxilia na redução de problemas fitossanitários que ocorrem em algumas gramíneas, leguminosas e outras culturas (Tomm et al., 2009).

Apesar de ser uma cultura recente, a área cultivada no Brasil é de 92,1 mil ha, com produtividade média de 1.464 kg ha⁻¹ o que gera produção de cerca de 134,8 mil toneladas, sendo o Rio Grande do Sul o estado que mais produz (CONAB, 2024).

A produtividade média da canola está abaixo das áreas experimentais ou lavouras que adotam elevado nível tecnológico e isso ocorre dentre outros fatores pela competição com as plantas daninhas, em especial as que pertencem à mesma família (*Brassicaceae*), como o nabo/nabiça (*Raphanus raphanistrum* e *R. sativus*) (Durigon et al., 2019a; Brandler et al., 2021). Além dos problemas ocasionados pela competição, ressalta-se também que os grãos de nabo forrageiro, por serem semelhantes aos da canola, podem misturarem-se a esses e reduzir a qualidade, especialmente do óleo produzido. Enquanto os grãos de canola possuem menos de 1% de ácido erúico, os grãos de nabo apresentam 15% (Franz et al., 2020). Além dos menores teores de ácido erúico melhorar a palatabilidade dos subprodutos, estudos indicam que altos teores desse composto podem ser tóxicos aos seres humanos (Durante et al., 1983; Guimarães et al., 2022).

Outra planta daninha que compete com a canola é o azevém (*Lolium multifolium*) que acarreta danos a cultura, com perdas significativas da produtividade e da qualidade dos grãos colhidos (Brandler et al., 2021; Galon et al., 2021). No entanto para o controle de azevém, quando esse não é resistente, tem-se usados os herbicidas gramínicidas, que são seletivos a canola por essa apresentar enzima insensível aos inibidores de acetil coenzima A carboxilase (ACCCase), ou seja, a cultura demonstra seletividade a esse mecanismo de ação (Vargas et al., 2011).

A redução na produtividade de grãos da canola é de 70 a 90%, em virtude da competição que as plantas daninhas ocasionam pelos recursos do ambiente como água, luz e nutrientes, pela liberação de substâncias alelopáticas ou mesmo por serem hospedeiras de insetos e doenças que infestarem a cultura (Nichelati et al., 2020; Galon et al., 2021; Sabbahi et al., 2023). Por serem plantas mais rústicas, já que não sofreram nem um processo de melhoramento genético as plantas daninhas têm maior facilidade de se adaptarem as condições adversas, tanto do ambiente quanto de solo. O uso de híbridos submetidos a processos de melhoramento faz com que a cultura apresente uma melhor capacidade de competição com as plantas daninhas ao se comparar com variedades ou cultivares, o que auxilia a canola a ter um melhor desempenho produtivo ou mesmo a tolerar fatores adversos ao se crescimento e desenvolvimento (Lemerle et al., 2017; Nichelati et al., 2020; Sabbahi et al., 2023).

No Brasil, escassos são os herbicidas registrados para aplicação no controle de plantas daninhas infestantes da canola, especialmente para o nabo ou nabiça na pós emergência (AGROFIT, 2024). Recentemente foi desenvolvido, híbridos de canola com a tecnologia Clearfield podendo-se utilizar os herbicidas inibidores da enzima ALS (aceto lactato sintetase), especialmente o imazamox que a cultura demonstra seletividade (Kozar et al., 2024). Para os demais híbridos de canola que não possuem essa tecnologia ainda se tem carência de produtos e assim torna-se importante a descoberta de herbicidas que possam ser aplicados na cultura. Dentre esses a mistura de fabrica dos herbicidas atrazine + mesotrione apresentam-se como possibilidade de uso em canola. Essa mistura apresenta amplo espectro, ou seja, conseguem controlar monocotiledôneas e dicotiledôneas, além de ter um residual prolongado, com dois mecanismos de ação (inibidor de carotenoide e FS II) o que também favorece o manejo da resistência de plantas daninhas (Correia et al., 2021b; AGROFIT, 2024).

O herbicida mesotrione tem como mecanismo de ação a inibição da biossíntese de carotenoides, através da interferência na atividade da enzima 4-hidroxifenilpiruvato-dioxigenase (HPPD) nos cloroplastos (Karam et al., 2004). Já o mecanismo de ação do herbicida atrazine consiste na inibição do fotossistema II, através da translocação do ingrediente ativo via xilema até as folhas (Marchi et al., 2008). Os sintomas causados pelos herbicidas são branqueamento (mesotrione) e clorose (atrazine), seguido de necrose e morte dos tecidos vegetais (Rodrigues et al., 2018).

O clethodim é um herbicida graminicida de ação sistêmica, que tem como mecanismo de ação a inibição da síntese lipídica (inibidor de ACCase), causando sintomas como amarelecimento das folhas, seguido de necrose e morte do meristema da planta (Marchi et al., 2008).

Quando não se tem seletividade a aplicação de herbicidas em determinada cultura de interesse pode causar injúrias, alterações fisiológicas, como na absorção de nutrientes, sintomas de fitotoxicidade, bem como a desregulação dos mecanismos de defesas da planta (Robinson et al., 2015; Oliver et al., 2016; Galon et al., 2022; Galon et al., 2023). Além destes efeitos negativos, quando não há seletividade, pode ocorrer a redução no tamanho, peso e na qualidade dos grãos, bem como no número de síliquas da cultura, sendo esses fatores estritamente ligados a redução da produtividade de grãos da canola (Vargas et al., 2011; Galon et al., 2023).

Tendo em vista a carência de herbicidas registrados para o controle de plantas daninhas em canola (AGROFIT, 2024), se faz necessário testar novos produtos e avaliar a seletividade desses para rotacionar mecanismos de ação, ingredientes ativos para diminuir problemas relacionados com a resistência de plantas daninhas.

A hipótese da pesquisa é que a aplicação dos herbicidas atrazine + mesotrione antecipadamente a semeadura da canola e o clethodim na pós emergência da cultura demonstram seletividade e não alteram os componentes de rendimento de grãos. Diante disso, objetivou-se com o trabalho avaliar a seletividade da mistura comercial composta por atrazine + mesotrione aplicados em diferentes épocas e doses, anteriormente a semeadura da canola, em dois anos agrícolas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados dois experimentos a campo, na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Erechim – RS, latitude 27°47'30" S, longitude 52°17'40" W e altitude de 650 m, nos anos agrícolas de 2022 e 2023. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima predominante na região é o Cfa, sendo um clima temperado úmido, com verão quente, chuvas uniformemente distribuídas, e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C, com precipitação de 1.100 a 2.000 mm, geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de 10 a 25 dias anualmente (Peel et al., 2007).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Alumino Férrico Húmico (Santos et al., 2018). A correção do pH e a adubação do solo foram realizadas de acordo com a análise físico-química e seguindo-se as recomendações técnicas para a cultura da canola (SBCS, 2016). As características químicas e físicas do solo foram: pH (água) = 7,3; matéria orgânica = 3,9%; argila = 52%; P = 14,9 mg dm⁻³; K = 184,8 mg dm⁻³; Ca⁺² = 5,5 cmol_c dm⁻³; Mg⁺² = 2,9 cmol_c dm⁻³; Al⁺³ = 0,0 cmol_c dm⁻³; H + Al = 1,8 cmol_c dm⁻³; e CTC efetiva = 8,9 cmol_c dm⁻³. As condições meteorológicas, como precipitação e temperatura (°C), registradas durante o período de realização dos experimentos podem ser observadas na Figura 1.

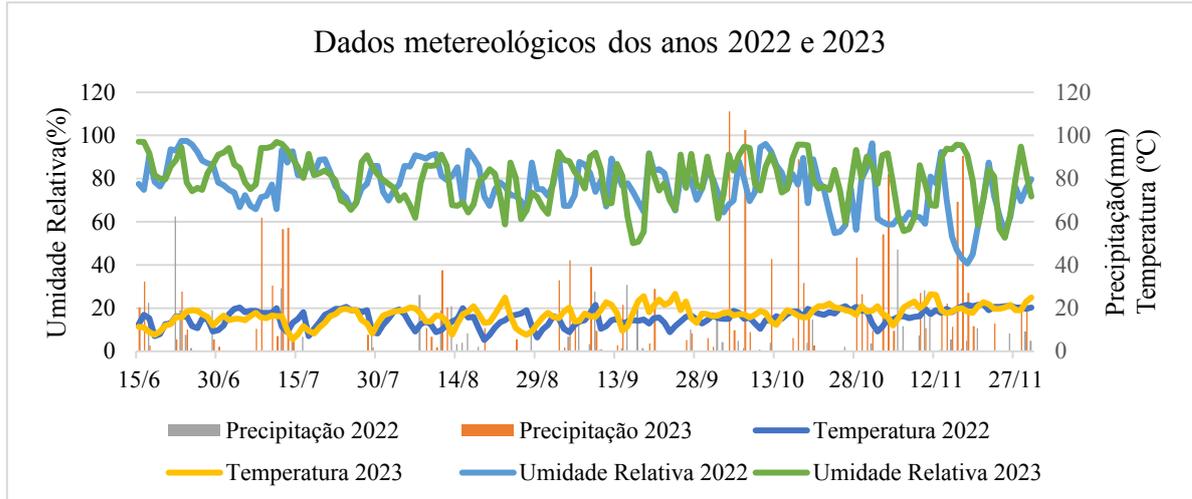


Figura 1. Temperatura média (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período de condução dos experimentos nos anos de 2022 e 2023. Fonte: INMET, (2024).

O delineamento utilizado nos dois experimentos foi de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial $2 \times 6 + 1 + 1$, com quatro repetições. No Fator A alocou-se as épocas de aplicação de atrazine + mesotrione (10 e 5 dias antes da semeadura da canola) e no B os herbicidas (doses de atrazine + mesotrione aplicados em isolado ou associados ao clethodim), mais uma testemunha capinada e o uso de clethodim em isolado, conforme descrito na Tabela 1. Cada parcela apresentou dimensões de 3 x 5 m (largura e comprimento), totalizando 15 m², contendo 6 linhas de semeadura espaçadas a 0,5 m, entre si. A área útil correspondeu às 4 linhas centrais, descartando-se uma linha em cada lado da parcela (bordadura) e 1 m no início e final das parcelas.

A semeadura dos experimentos foi efetuada com semeadora/adubadora em sistema de plantio direto na palha em 28/06/2022 e 26/06/2023 no primeiro e segundo anos de cultivos, respectivamente. Para ambos os anos agrícolas utilizou-se o híbrido de canola Nuola 300, material com ciclo médio de 130 a 150 dias, com resistência poligênica à canela-preta. A densidade média de semeadura foi de 60 sementes viáveis m⁻², totalizando 600.000 sementes ha⁻¹, e uma profundidade de semeadura de 2 cm. Para adubação de base foi utilizado 200 kg ha⁻¹ da fórmula 05-30-15 (N-P₂O₅-K₂O) no momento da semeadura. Em cobertura aplicou-se 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) o que deu 67 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N), dividida em duas vezes, uma aplicação (33,5 kg ha⁻¹) quando a canola estava no estágio de 2 folhas e a segunda de 33,5 kg ha⁻¹ no estágio de 4 folhas, nos dois anos agrícolas.

Tabela 1. Tratamentos utilizados nos experimentos, respectivas doses, adjuvante e modalidade de aplicação, nos anos agrícolas de 2022 e 2023. UFFS, *Campus* Erechim/RS.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Produto comercial	Dose (L/kg ha ⁻¹)	Adjuvante (% v/v/L)	Época (dias)
Testemunha capinada	-----	-----	-----	-----	-----
Atrazine+mesotrione	250+25	Calaris	0,50	-----	10 DAS
Atrazine+mesotrione	500+50	Calaris	1,00	-----	10 DAS
Atrazine+mesotrione	750+75	Calaris	1,50	-----	10 DAS
Atrazine+mesotrione	250+25	Calaris	0,50	-----	5 DAS
Atrazine+mesotrione	500+50	Calaris	1,00	-----	5 DAS
Atrazine+mesotrione	750+75	Calaris	1,50	-----	5 DAS
Clethodim	108	Poquer	0,45	Dash	DAE
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	Calaris+Poquer [®]	0,50/0,45	Dash	10 DAS
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	Calaris+ Poquer [®]	1,00/0,45	Dash	10 DAS
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	Calaris+ Poquer [®]	1,50/0,45	Dash	10 DAS
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	Calaris+ Poquer [®]	0,50/0,45	Dash	5 DAS
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	Calaris+ Poquer [®]	1,00/0,45	Dash	5 DAS
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	Calaris+ Poquer [®]	1,50/0,45	Dash	5 DAS

A aplicação dos herbicidas foi efetuada com a utilização de um pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, equipado com quatro pontas de pulverização do tipo leque DG 110.02, mantendo-se pressão constante de 210 kPa e velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, o que proporcionou a vazão de 150 L ha⁻¹ de calda herbicida. As condições meteorológicas registradas durante a aplicação dos tratamentos nos experimentos podem ser observadas na Tabela 2.

Nos dois anos os herbicidas atrazine + mesotrione foram aplicados em pré-emergência aos 10 e 5 dias antes da semeadura da canola e o clethodim + óleo mineral quando a cultura se encontrava no estágio de 3 a 4 folhas.

As variáveis avaliadas foram; fitotoxicidade dos herbicidas ao híbrido de canola Nuola 300, aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após aplicação dos tratamentos (DAT). Foram atribuídas notas percentuais, sendo zero (0%) aos tratamentos com ausência de fitotoxicidade e de cem (100%) para a morte das plantas da canola de acordo com a metodologia proposta por Velini et al. (1995).

Aos 45 dias pós-emergência (DAE) da canola, foram realizadas as avaliações das trocas gasosas utilizando-se para isso um analisador de gás por infravermelho (IRGA), modelo LCpro-SD (ADC BioScientific Ltd). As variáveis avaliadas foram: concentração interna de CO₂ (C_i - μmol mol⁻¹), coeficiente de transpiração (E - mol m⁻² s⁻¹), condutância de gases (G_s - mol m⁻¹ s⁻¹), atividade fotossintética (A - μmol m⁻² s⁻¹), eficiência do uso da água (EUA - mol CO₂ mol H₂O⁻¹) e eficiência de carboxilação (EC - mol CO₂ m⁻² s⁻¹). A eficiência do uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação (EC) foram calculadas a partir da razão das variáveis A/E e A/C_i

respectivamente. Cada bloco foi avaliado sob iluminação natural em um dia, entre 8:00 e 11:00 h, em condições de céu aberto, de forma que se mantivessem as condições ambientais homogêneas durante as análises.

Tabela 2. Condições ambientais no momento da aplicação dos herbicidas em pré e pós-emergência do híbrido de canola Nuola 300.

Época da aplicação	Data da aplicação	Luminosidade (%)	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)	Condições de solo	Velocidade do vento (km h ⁻¹)
			ar	solo			
Aplicação de atrazine + mesotrione em pré-emergência - ano I (2022)							
10 DAS	15/06/2022	100	21,5	12	46,5	Friável	0-3
5 DAS	22/06/2022	100	15,5	10	79,5	Seco	4
Aplicação de atrazine + mesotrione em pré-emergência - ano II (2023)							
10 DAS	10/06/2023	Nublado	14	14	57,6	Úmido	4-6
5 DAS	22/06/2023	Nublado	21	19	74	Úmido	3
Aplicação de clethodim em pós-emergência - anos I e II (2022 e 2023)							
32 DAE	30/07/2022	100	20	15	69	Friável	4
36 DAE	01/08/2023	100	23,5	17	65	Firável	3

Na pré-colheita, coletou-se aleatoriamente cinco plantas de canola dentro da área útil de cada parcela, acondicionando-se as mesmas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para contagem dos componentes de rendimento, sendo estes o número de síliquas por planta (NSP), o número de grãos por síliqua (NGS) e o número de grãos por planta (NGP).

Após a colheita manual e trilha da canola em área útil de 6 m², foi determinado o peso de mil grãos (g) e a produtividade de grãos (kg ha⁻¹). O peso de mil grãos foi aferido por contagem de mil grãos em contador eletrônico de sementes e grãos modelo CSP – 10Seed (Celmi) e posteriormente pesados em balança analítica. Para as análises, a umidade dos grãos foi padronizada para o teor de 10% e os dados de produtividade de grãos foram extrapolados para kg ha⁻¹.

Os dados foram analisados conjuntamente, ou seja, os dois anos agrícolas foram agrupados visando diluir o efeito do ano nos resultados experimentais, submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias. Após a comprovação da normalidade dos erros, realizou-se a análise de variância pelo teste F, sendo os resultados significativos, aplicou-se o

teste de Tukey e o teste T ($p \leq 0,05$). Para realização dos testes foi usado o *Software* Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre os fatores testados (herbicidas x épocas de aplicação) para as variáveis fitotoxicidade avaliadas aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), taxa transpiratória, condutância estomática e eficiência no uso da água. Para as demais variáveis avaliadas ocorreu interação entre os fatores testados.

Observou-se que a aplicação da maior dose de atrazine + mesotrione ($750 + 75 \text{ g ha}^{-1}$) em isolado ou associado com o clethodim, aos 10 e 5 dias antes da semeadura da canola, para todas as avaliações (7, 14, 21, 28, 35 e 42 DAT) ocasionaram as maiores fitotoxicidades a canola (Tabela 3). A fitotoxicidade causada pela aplicação de herbicidas em plantas ocorre em função dessa não ter mecanismos de tolerância, e mesmo quando aplicado em diferentes épocas e doses, a cultura não consegue degradar as moléculas do produto resultando como consequência injúrias a cultura (Merotto Jr., et al., 2000; Correia et al., 2021a; Galon et al., 2023).

A tolerância ou a seletividade de uma espécie a certo herbicida está relacionada à capacidade diferencial dessa espécie em absorver, translocar, metabolizar e exsudar para o ambiente um determinado herbicida (Carvalho et al., 2009; Gwatidzo et al., 2023). Há pelo menos seis mecanismos gerais que podem explicar a tolerância de plantas a herbicidas e influenciar os mecanismos de ação desses compostos: menor absorção ou translocação, maior metabolização a substâncias menos fitotóxicas, compartimentalização das moléculas intactas dos herbicidas, falta de afinidade do herbicida pelo sítio de ação específico, além de super-produção da enzima alvo (Gaines et al., 2020).

O uso de clethodim na pós-emergência da canola demonstrou baixos sintomas de fitotoxicidade, em todas as épocas em que foi avaliado onde igualou-se em muitas situações a testemunha capinada, desaparecendo os sintomas de injúrias aos 42 DAT, tanto para aplicação feita aos 10 como aos 5 DAS (Tabela 3). O clethodim é um herbicida graminicida, ou seja, controla gramíneas infestantes de culturas eudicotiledôneas, sendo que essas apresentam insensibilidade enzimática e assim ocorre seletividade ao produto. Segundo Vargas et al. (2011), herbicidas graminicidas como o clethodim, setoxydim, haloxifop, dentre outros podem ser utilizados em pós-emergência da canola que não irão afetar a produtividade da cultura, já que as dicotiledôneas não são controladas por este mecanismo de ação, sendo assim produtos seletivos.

Os resultados demonstram que o uso da menor dose de atrazine + mesotrione (250 + 50 g ha⁻¹), tanto aplicadas de modo isolado quanto associadas ao clethodim aos 10 e 5 dias antes da semeadura da canola, demonstraram sintomas de fitotoxicidade menor que 9%, nas avaliações efetuadas aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 DAT, sendo iguais ou somente superiores estatisticamente a testemunha sem herbicidas (Tabela 3). Os demais tratamentos ficaram em patamares intermediários aos que ocasionaram elevadas ou baixas fitotoxicidades. Pode-se dizer que a cultura da canola foi seletiva ao uso da mistura de atrazine + mesotrione quando aplicado em doses baixas (250 + 25 g ha⁻¹) e esse fato ocorre provavelmente por que a cultura consegue se recuperar dos sintomas de injúrias com o passar do tempo.

Tabela 3. Fitotoxicidade (%) de herbicidas aplicados no híbrido de canola Nuola 300, cultivado nos anos de 2022 e 2023. UFFS, *Campus Erechim/RS*.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Fitotoxicidade a canola (%)					
		7 DAT		14 DAT		21 DAT	
		10 DAS	5 DAS	10 DAS	5 DAS	10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	0,00 e	0,00 b	0,00 e	0,00 d	0,00 c	0,00 e
Atrazine+mesotrione	250+25	6,67 de	6,83 b	8,33 d	6,83 c	7,50 b	3,33 de
Atrazine+mesotrione	500+50	14,33 bc	17,00 a	16,00 bc	17,00ab	18,33 a	14,17 ab
Atrazine+mesotrione	750+75	22,67 a	21,33 a	22,83 a	19,50ab	20,83 a	17,00 ab
Clethodim	108	2,50 de	2,50b	7,33 d	7,33 c	6,67 b	6,67 cd
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	7,17 cde	6,33 b	7,67 d	6,83 c	4,17 bc	6,33 cde
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	9,50 cd	17,00 a	11,17 cd	14,50 b	9,17 b	11,67 bc
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	20,83 ab	20,83 a	21,67 ab	22,50 a	19,17 a	18,33 a
Média Geral	---	10,97		11,84		10,21	
C.V. (%)	---	42,32		36,08		40,38	
Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Fitotoxicidade a canola (%)					
		28 DAT		35 DAT		42 DAT	
		28 DAT	35 DAT	35 DAT	42 DAT	42 DAT	42 DAT
Testemunha capinada	---	0,00 e	0,00 d	0,00 e	0,00 c	0,00 c	0,00 b
Atrazine+mesotrione	250+25	6,50 cd	3,33 cd	3,00 de	0,00 c	2,50 bc	0,00 b
Atrazine+mesotrione	500+50	14,67 ab	11,50 ab	13,00 ab	7,50 ab	5,83 b	3,83 ab
Atrazine+mesotrione	750+75	18,67 a	15,00 a	16,67 a	13,33 a	12,83 a	7,50 a
Clethodim	108	5,50 cde	5,50 bcd	2,50 de	2,50 bc	0,00 c	0,00 b
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	2,50 de	5,50 bcd	0,00 e	0,83 c	0,00 c	0,00 b
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	9,67 bc	8,50 bc	6,67 cd	4,50 bc	2,50 bc	2,50 b
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	17,00 a	15,00 a	10,50 bc	12,50 a	6,67 b	8,33 a
Média Geral	---	8,68		5,84		3,28	
C.V. (%)	---	46,08		67,38		98,46	

¹ Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p \leq 0,05$

Os resultados demonstram que o incremento das doses de atrazine + mesotrione aplicadas aos 10 e 5 DAS, ocasionaram aumento da fitotoxicidade à canola (Tabela 3). Já associação de clethodim na mistura de atrazine + mesotrione, independentemente da dose aplicada, não aumentou a fitotoxicidade à cultura. Nota-se que quanto maior a dose aplicada de atrazine + mesotrione, mais injúrias ocorreram na cultura.

A tolerância das plantas a herbicidas é variável de produto para produto, independentemente do mecanismo de ação e do grupo químico dos mesmos, podendo estar associada à época de aplicação (pré ou pós-emergência), dose utilizada, estágio da planta no momento da aplicação, características de solo, do clima, da planta (relacionadas à absorção, translocação e metabolização do herbicida, alteração no sítio de ação, etc.) (Oliveira Jr. & Inoue, 2011). Assim sendo quando esses herbicidas são usados nessa cultura a mesma não consegue metabolizar ou degradar e, como consequência, se livrar dos efeitos tóxicos desses produtos (Merotto Jr., 2000; Correia et al, 2021a).

De maneira geral, observou-se que a fitotoxicidade foi diminuindo com o passar do tempo, ou seja, dos 7 até os 42 DAT para as duas épocas em que foram aplicados os herbicidas (10 e 5 DAS). Isso deve-se provavelmente pela recuperação das injúrias ou mesmo em razão da metabolização dos herbicidas pela cultura.

As respostas fisiológicas da canola, após a aplicação dos tratamentos, estão representadas na Tabela 4, sendo que a aplicação de atrazine + mesotrione, na maioria das situações demonstrou o pior desempenho à cultura, ao se comparar com o uso dos demais herbicidas, para as variáveis; concentração interna de CO₂, taxa fotossintética, eficiência de carboxilação, condutância estomática, taxa de transpiração e eficiência de uso da água. Os herbicidas podem ocasionar alterações no metabolismo ou na fisiologia das plantas, com efeitos potencialmente tóxicos (Oliveira Jr. et al., 2011; Correia et al., 2021a). Fato esse também constatado em outras pesquisas envolvendo a aplicação de herbicidas na cultura da canola (Durigon et al., 2018; Umurzokov et al., 2019; Galon et al., 2022).

Convém lembrar que diferentes condições de estresse seja ele hídrico, osmótico, excesso de luminosidade, salinidade, temperatura, injúrias provocadas por patógenos, herbicidas e outros, fazem com que as plantas sofram alterações em seu metabolismo e, conseqüentemente, ocorra a formação de espécies reativas de oxigênio (Xavier et al., 2018), que causam a oxidação de importantes componentes celulares, podendo causar a morte das células, aumentando assim efeitos negativos na fisiologia das plantas.

Para as variáveis concentração interna de CO₂ e eficiência de carboxilação aos 5 DAS, condutância estomática e taxa de transpiração aos 10 DAS não houve interação entre os fatores testados e nem efeito simples de tratamentos. A ausência de efeitos significativos dos tratamentos herbicidas nestas variáveis pode ser atribuída à resiliência das plantas nas primeiras fases do desenvolvimento ou à capacidade dos herbicidas em doses aplicadas não interferirem diretamente nos processos fisiológicos críticos para a fotossíntese e transpiração. Isso é

importante para a escolha dos herbicidas, pois sugere que, em condições controladas, os tratamentos não comprometem a eficiência fisiológica das plantas jovens.

Tabela 4. Concentração interna de CO₂ (C_i, μmol mol⁻¹), taxa fotossintética (A, μmol m⁻² s⁻¹) e eficiência de carboxilação (EC) em plantas do híbrido de canola Nuola 300 em função da aplicação de herbicidas em diferentes épocas aos 10 e 5 DAS (dias antes da semeadura), nos anos agrícolas 2022 e 2023. UFFS, *Campus Erechim/RS*.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Concentração de CO ₂	
		10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	298,50 Aab ¹	298,50 Aa
Atrazine+mesotrione	250+25	292,17 Abc	294,00 Aa
Atrazine+mesotrione	500+50	286,67 Abc	292,00 Aa
Atrazine+mesotrione	750+75	276,50 Bc	290,33 Aa
Clethodim	108	290,50 Abc	290,50 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	289,17 Abc	294,17 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	297,33 Aab	289,00 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	314,67 Aa	296,50 Ba
Média Geral	---	293,13	
C.V. (%)	---	3,96	
Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Taxa fotossintética	
		10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	21,00 Aab	21,00 Aa
Atrazine+mesotrione	250+25	19,98 Ab	21,11 Aa
Atrazine+mesotrione	500+50	21,96 Aab	21,15 Aa
Atrazine+mesotrione	750+75	23,22 Aa	20,65 Ba
Clethodim	108	22,33 Aab	22,33 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	21,02 Aab	21,35 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	20,65 Bb	22,43 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	20,19 Ab	20,62 Aa
Média Geral	---	21,31	
C.V. (%)	---	7,35	
Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Eficiência carboxilação	
		10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	0,07 Abc ¹	0,07 Aa
Atrazine+mesotrione	250+25	0,07 Abc	0,07 Aa
Atrazine+mesotrione	500+50	0,08 Aab	0,07 Aa
Atrazine+mesotrione	750+75	0,09 Aa	0,07 Ba
Clethodim	108	0,08 Aab	0,08 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	0,07 Abc	0,07 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	0,07 Bbc	0,08 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	0,06 Ac	0,07 Aa
Média Geral	---	0,07	
C.V. (%)	---	8,91	

¹ Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey e T, respectivamente a p≤0,05.

Observou-se que aos 10 DAS, o uso de atrazine + mesotrione (750 + 75g ha⁻¹) em isolado ocasionou menor concentração interna de CO₂, já quando associado ao clethodim (108 g ha⁻¹) apresentou a maior concentração interna de CO₂ (Tabela 4). O aumento da concentração

interna de CO₂ está ligado ao aumento da taxa fotossintética, isso acontece quando a planta não apresenta estresse oxidativo causado pelo herbicida, visto que, quando a planta tem condições favoráveis ela apresenta altas concentrações de CO₂ e, conseqüentemente, uma taxa fotossintética elevada (Dalastra et al., 2014; Agostinetto et al., 2016; Galon et al., 2023). Fato esse também observado no presente estudo, em que o tratamento que demonstrou menor concentração interna de CO₂ (atrazine + mesotrione – 750 + 75 g ha⁻¹) aos 10 DAS apresentou maior taxa fotossintética nessa mesma época e aquele que teve a maior concentração aos 5 DAS foi verificado menor taxa fotossintética.

A taxa fotossintética aos 10 DAS apresentou seu maior valor com o tratamento atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹), e os menores valores foram observados ao se usar o atrazine + mesotrione (250 + 25 g ha⁻¹) de forma isolada e esse mesmo tratamento (atrazine + mesotrione 500 + 50 e 750 + 75 g ha⁻¹) misturado ao tanque do pulverizador com clethodim. Atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹) apresentou a maior taxa fotossintética, provavelmente devido à indução de respostas adaptativas que aumentam a eficiência fotossintética em função do estresse moderado imposto pela alta dose de herbicida.

A baixa dose (atrazine + mesotrione 250 + 25 g ha⁻¹) não foi suficiente para induzir uma resposta significativa, resultando em uma menor taxa fotossintética. A combinação de clethodim com atrazine e mesotrione resultou em menores taxas fotossintéticas, possivelmente devido a efeitos fitotóxicos acumulativos ou à interferência nos processos metabólicos das plantas. Em comparação ao uso de atrazina em cultivar resistente de canola, Durigon et al., (2019b) concluíram que o aumento da taxa fotossintética pode estar ligado a recuperação da planta aos estresses causados pelo herbicida, ou sendo resultado do aumento dos índices de clorofila. Além disso, os prejuízos mais significativos nas culturas surgem quando a planta intensifica sua taxa de transpiração, resultando em uma absorção mais alta do herbicida (Oliveira Jr. et al., 2011).

A taxa fotossintética está ligada a intensidade de fotossíntese realizada pela planta, ela pode variar de acordo com a quantidade de luz que recebe, ou se a mesma está passando por algum estresse. A tolerância das plantas aos herbicidas pode variar devido a disparidades genéticas entre espécies ou mesmo dentro de diferentes cultivares/híbridos, outros fatores como idade da planta, características morfológicas, taxas de absorção e translocação, bem como a composição química dos próprios herbicidas, contribuem para reações fisiológicas distintas (Merotto Jr. et al., 2000).

Em relação a eficiência de carboxilação (EC), o tratamento atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹) com uso isolado teve o maior valor observado aos 10 DAS, enquanto o tratamento

atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹) associado ao clethodim (108 g ha⁻¹) obteve o menor valor (Tabela 4). Aos 5 DAS todos os tratamentos não diferiram entre si. A eficiência de carboxilação (EC) apresentou o maior valor com o tratamento de atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹) isolado aos 10 dias após a semeadura (DAS), devido ao estresse moderado que leva a uma resposta adaptativa nas plantas, otimizando seu metabolismo fotossintético.

Em contraste, a combinação de atrazine + mesotrione (750+75 g ha⁻¹) com clethodim (108 g ha⁻¹) resultou na menor EC, provavelmente devido a efeitos fitotóxicos adicionais que prejudicam a eficiência metabólica. Aos 5 DAS, todos os tratamentos não diferiram entre si, indicando que as plantas ainda não haviam desenvolvido respostas diferenciadas aos herbicidas nessa fase inicial. Esses resultados destacam a complexidade das interações entre herbicidas e plantas, em que doses elevadas de atrazine e mesotrione isolados podem melhorar a EC, enquanto a adição de clethodim pode comprometer essa eficiência.

Os resultados demonstram não haver diferenciação entre os tratamentos aplicados na canola para a condutância estomática de vapores de água aos 10 DAS (Tabela 5). Já aos 5 DAS a menor condutância foi observada ao se aplicar em mistura em tanque o atrazine + mesotrione + clethodim (500 + 50 + 108 g ha⁻¹).

Tabela 5. condutância estomática (gs, mol m⁻² s⁻¹), taxa de transpiração (*E*, mol m⁻² s⁻¹) e eficiência de uso da água (EUA) em plantas do híbrido de canola Nuola 300 em função da aplicação de herbicidas, nos anos agrícolas 2022 e 2023. UFFS, *Campus* Erechim/RS.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Características fisiológicas					
		Condutância		Transpiração		Eficiência da água	
		10 DAS	5 DAS	10 DAS	5 DAS	10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	0,75 a ¹	0,75 ab	0,75 a	0,75 ab	8,92 ab	8,92 b
Atrazine+mesotrione	250+25	0,66 a	0,73 ab	0,66 a	0,73 ab	6,98 b	8,38 b
Atrazine+mesotrione	500+50	0,77 a	0,75 ab	0,77 a	0,75 ab	9,23 ab	9,29 ab
Atrazine+mesotrione	750+75	0,64 a	0,67 ab	0,64 a	0,67 ab	8,39 ab	8,72 b
Clethodim	108	0,79 a	0,79 a	0,79 a	0,79 a	7,17 b	7,17 b
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	0,68 a	0,79 a	0,68 a	0,79 a	8,31 ab	7,93 b
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	0,62 a	0,59 b	0,62 a	0,59 b	10,14 a	11,33 a
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	0,72 a	0,66 ab	0,72 a	0,66 ab	9,20 ab	8,49 b
Média Geral	---	0,71		0,71		8,66	
C.V. (%)	---	17,58		17,58		17,01	

¹ Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a p≤0,05.

A condutância estomática, é responsável por conduzir água e CO₂ através dos estômatos, quando a cultura se encontra em condições de estresse, provocado por efeito ambiental ou pelo uso de herbicidas, os estômatos se fecham a fim de evitar a perda de água, aumentando sua resistência e, por consequência disso, ocorre maior atividade fotossintética e uso eficiente da

água e menor transpiração (Agostinetto et al., 2016). Esse fato corrobora em partes aos resultados observados no presente estudo.

Não houve diferença na aplicação dos tratamentos em relação a taxa transpiratória aos 10 DAS (Tabela 5). Aos 5 DAS as maiores taxas de transpiração ocorreram ao se aplicar o clethodim em isolado e a mistura em tanque de atrazine + mesotrione + clethodim (250 + 50 + 108 g ha⁻¹). Nesse período, os tratamentos apresentaram maiores taxas de transpiração, possivelmente devido a uma resposta inicial ao estresse causado pelos herbicidas, que afetaram a abertura estomática. Aos 10 DAS, as plantas parecem ter se adaptado aos herbicidas, resultando em taxas de transpiração mais uniformes entre os tratamentos, indicando uma recuperação fisiológica ou uma menor sensibilidade das plantas nessa fase de desenvolvimento.

Em relação a eficiência do uso da água (EUA), o tratamento que se destacou foi atrazine + mesotrione + clethodim (500 + 50 + 108 g ha⁻¹), tendo o maior valor aos 10 e 5 DAS (Tabela 5). Isso sugere que essa combinação de herbicidas e suas dosagens proporcionaram um ambiente onde as plantas conseguiram otimizar o uso da água disponível para a fotossíntese, provavelmente através de uma melhor regulação estomática e eficiência de carboxilação. Aos 10 DAS os menores valores para a eficiência do uso da água ficaram com o uso de atrazine + mesotrione (250 + 25 g ha⁻¹) e de clethodim (108 g ha⁻¹) aplicado em isolado. Já aos 5 DAS, o menor valor foi obtido no tratamento com clethodim (108 g ha⁻¹). Isso pode ser explicado pela falta de uma pressão seletiva suficiente que induzisse uma resposta fisiológica otimizada nas plantas, resultando em menor eficiência na utilização da água.

Em relação ao número de siliquis por planta (NSP) não houve efeito significativo entre os tratamentos aplicados para época 10 DAS (Tabela 4). Para a época 5 DAS o uso de atrazine + mesotrione (500 + 50 g ha⁻¹) demonstrou o menor número de siliquis por planta e esse mesmo tratamento ao ser misturado em tanque com clethodim o melhor desempenho para essa variável. Possivelmente pelo fato da planta ter tido um maior tempo para conseguir superar os efeitos tóxicos dos produtos durante o ciclo, não ocorreu diferenças no NSP aos 10 DAS. Já aos 5 DAS, o tratamento atrazine + mesotrione (500 + 50 g ha⁻¹) aplicado em isolado apresentou menor NSP do que quando em associação com o pós-emergente, isso pode ser explicado em função de que a planta precisou investir menor quantidade de energia para se recuperar das injúrias causadas pelo herbicida quando o mesmo foi aplicado em associação ao pós-emergente. Além disso, observa-se que quando associado ao clethodim o tratamento atrazine + mesotrione (500 + 50 g ha⁻¹) apresentou a maior taxa fotossintética, isso pode ter influenciado positivamente para se ter um maior NSP.

O número de grãos por planta foi maior aos 10 DAS ao se usar atrazine + mesotrione

(750 + 75 g ha⁻¹), associado ao clethodim, sendo inclusive estatisticamente igual a testemunha capinada (Tabela 6). Os piores resultados foram observados ao se aplicar clethodim em isolado e associado a atrazine + mesotrione (250 + 25, 500 + 50 e 750 + 75 g ha⁻¹) tanto na época de 10 quanto de 5 DAS. A dose mais alta de atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹) apresentou o maior valor de número de grãos devido ao estresse que levou uma resposta adaptativa na plantas. Sendo assim, a mesma adaptou-se fisiologicamente para superar as injúrias causadas pelo herbicida, e obteve um maior número de grãos por planta. Enquanto com o uso da menor dose de atrazine + mesotrione (250 + 25 g ha⁻¹) em associação ao clethodim, e o uso do clethodim em isolado, não causaram uma pressão seletiva a planta, fazendo com que a mesma não expressasse seu maior NGP. Em trabalho de Harker et al. (2000) foi observado ao usarem diferentes herbicidas em canola, que existem situações que podem levar a ganhos substanciais de rendimento como resultado do bom desempenho do herbicida.

Ao se comparar as épocas de aplicação entre si, observou-se que o uso de atrazine + mesotrione (250+25 g ha⁻¹) em isolado e atrazine + mesotrione (500 + 50 g ha⁻¹) associado com clethodim demonstraram o menor número de grãos por planta ao serem aplicados aos 10 DAS, comparando-se aos 5 DAS (Tabela 6). A aplicação aos 5 DAS de atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹) associado ao clethodim demonstrou pior desempenho em relação aos 10 DAS. Para os demais tratamentos não foi observado diferenciação entre o uso dos herbicidas aos 10 e 5 DAS para a essa variável em estudo.

Quando aplicado aos 5 DAS, os tratamentos atrazine + mesotrione e atrazine + mesotrione + clethodim respectivamente (250 + 25 e 500 + 50 + 108 g ha⁻¹), causaram um maior estresse a planta de canola, o que fez com que a mesma expressasse seu melhor desempenho para conseguir superar esse estresse e assim apresentou um maior valor de número de grãos por planta do que quando aplicado aos 10 DAS. Em relação ao tratamento atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹), em associação ao clethodim, pode-se dizer que a planta da canola não conseguiu livrar-se das injúrias causadas pela alta dose do produto aplicado, e ainda posteriormente com a associação do pós-emergente, o que fez com que a planta não conseguisse expressar o seu melhor desempenho quanto ao NGP.

Observou-se que para ambas as épocas (10 e 5 DAS), a testemunha capinada demonstrou os melhores resultados para o número de grãos por siliqua (Tabela 6). Aos 10 DAS, o uso de atrazine + mesotrione (500 + 50 g ha⁻¹) e atrazine + mesotrione + clethodim (500 + 50 + 108 g ha⁻¹) apresentaram o menor valor para o número de grãos por siliqua. A aplicação de atrazine + mesotrione + clethodim (250 + 25 + 108 g ha⁻¹) demonstrou o menor número de grãos por siliqua na época de 5 DAS, diferindo apenas da testemunha capinada. O impacto do

herbicida no número de grãos por siliqua depende de fatores como a sensibilidade da planta ao herbicida, ou também a dose aplicada. Nota-se que para ambas as épocas, quando não foram utilizados herbicidas a planta expressou o melhor resultado ao NGS. O mecanismo de ação dos herbicidas utilizados pode, eventualmente, afetar o desenvolvimento e a formação das estruturas reprodutivas da planta, como as flores e as síliquas, ocorrendo assim a diminuição do número de grãos por síliquas.

Tabela 6. Número síliquas por planta (NSP), número de grãos por planta (NGP) e número de grãos por siliqua (NGS) do híbrido de canola Nuola 300 em função da aplicação de herbicidas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023. UFFS, *Campus Erechim/RS*.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	N. síliquas por planta	
		10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	132,00 Aa	132,00 Aab
Atrazine+mesotrione	250+25	137,63 Aa	132,43 Aab
Atrazine+mesotrione	500+50	120,33 Aa	118,87 Ab
Atrazine+mesotrione	750+75	131,53 Aa	157,17 Aab
Clethodim	108	121,43 Aa	121,43 Ab
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	105,63 Ba	147,60 Aab
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	133,63 Aa	167,53 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	146,27 Aa	158,27 Aab
Média Geral	---		
C.V. (%)	---		
Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	N. grãos por planta	
		10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	2506,40Aab ¹	2506,40 Aa
Atrazine+mesotrione	250+25	1876,80 Bc	2289,27 Aab
Atrazine+mesotrione	500+50	1521,53 Ac	1839,70 Abc
Atrazine+mesotrione	750+75	1997,57Abc	2108,13 Aabc
Clethodim	108	1653,80Ac	1653,80 Ac
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	1721,90Ac	1544,40 Ac
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	1766,33Bc	2429,40 Aab
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	2701,90Aa	1995,40 Babc
Média Geral	---		2007,05
C.V. (%)	---		19,51
Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	N. grãos por siliqua	
		10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	19,39 Aa	19,39 Aa
Atrazine+mesotrione	250+25	13,91 Babc	17,99 Aab
Atrazine+mesotrione	500+50	13,24 Ac	15,73 Aabc
Atrazine+mesotrione	750+75	15,46 Aabc	13,37 Abc
Clethodim	108	13,64 Abc	13,64 Abc
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	16,46 Aabc	11,10 Bc
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	13,31 Ac	15,10 Aabc
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	19,10 Aab	12,89 Bbc
Média Geral	---		15,23
C.V. (%)	---		24,05

¹ Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey e T, respectivamente, a $p \leq 0,05$.

Ao se comparar as épocas de aplicação entre si, observou-se que o menor número de

grãos por síliqua ocorreu ao se usar o atrazine + mesotrione ($250 + 25 \text{ g ha}^{-1}$) para os 10 DAS e atrazine + mesotrione ($250 + 25$ e $750 + 75 \text{ g ha}^{-1}$) associados ao clethodim (Tabela 6). Para os demais tratamentos não houve diferenças entre as épocas de aplicação.

Aos 10 DAS a aplicação das doses, menor e maior de atrazine + mesotrione ($250 + 25$ e $750 + 75 \text{ g ha}^{-1}$) apresentaram o melhor e o pior resultados, respectivamente para o peso de mil grãos, sendo ambas as doses associadas ao clethodim (Tabela 7). Os tratamentos aplicados aos 5 DAS não demonstraram efeito significativo para o peso de mil grãos. Nota-se que com baixas doses ($250 + 25 \text{ g ha}^{-1}$), o herbicida apresentou um grau de seletividade, ou seja, a canola conseguiu degradar ou metabolizar o herbicida, minimizando assim os danos causados à cultura. Já quando o herbicida foi utilizado em sua maior dose ($750 + 75 \text{ g ha}^{-1}$), a planta não conseguiu se recuperar, diminuindo assim seu PMG.

Somente ocorreu diferenças entre a aplicação dos tratamentos em cada época para aplicação de atrazine + mesotrione ($500 + 50$ e $750 + 75 \text{ g ha}^{-1}$), ambas associadas ao clethodim, sendo maior peso de mil grãos ao se aplicar esses herbicidas aos 5 DAS em comparação com o uso dos mesmos aos 10 DAS (Tabela 7). Para os demais tratamentos não foram observadas diferenças entre aplicações efetuadas aos 10 e 5 DAS.

A aplicação de atrazine + mesotrione ($750 + 75 \text{ g ha}^{-1}$) em isolado aos 10 DAS foi o tratamento que demonstrou a menor produtividade de grãos de canola ao se comparar com os demais (Tabela 7). Nessa dose do herbicida, aos 10 DAS, a planta da canola não conseguiu superar os efeitos tóxicos causados pela alta dose do herbicida, com isso expressou resultado inferior ao se comparar aos demais tratamentos. Além disso, a aplicação de atrazine + mesotrione ($750 + 75 \text{ g ha}^{-1}$) acarretou as maiores porcentagens de fitotoxicidade (Tabela 3), o que explica a cultura apresentar menores produtividades de grãos para este tratamento. O uso de atrazine + mesotrione ($500 + 50 \text{ g ha}^{-1}$) associado ao clethodim apresentou a maior produtividade de grãos, superando a testemunha capinada em aproximadamente 100 kg ha^{-1} diferindo estatisticamente somente do tratamento atrazine + mesotrione ($750 + 75 \text{ g ha}^{-1}$). Aos 5 DAS a produtividade de grãos foi estatisticamente igual para todos os tratamentos.

O uso de atrazine + mesotrione ($500 + 50 \text{ g ha}^{-1}$) em associação ao clethodim aos 10 DAS, apresentou valores de produtividade superior a testemunha capinada (Tabela 7). Isso pode ser explicado pelo fato da planta conseguir superar o estresse causado por esses herbicidas, já que a fitotoxicidade observada aos 42 DAT foi baixa (2,50%), expressando assim maior produtividade de grãos. Resultados similares a esse foram relatados por Vargas et al. (2011), ao usarem herbicidas graminicidas como o clethodim não observaram efeito negativo na produtividade de grãos da cultura.

Tabela 7. Peso de mil grãos (PMG - g) e produtividade de grãos (kg ha⁻¹) do híbrido de canola Nuola 300 em função da aplicação de herbicidas nos anos de 2022 e 2023. UFFS, *Campus Erechim/RS*.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Peso de mil grãos	
		10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	2,90 Aab	2,90 Aa
Atrazine+mesotrione	250+25	2,95 Aab	2,95 Aa
Atrazine+mesotrione	500+50	2,94 Aab	3,01 Aa
Atrazine+mesotrione	750+75	2,93 Aab	2,92 Aa
Clethodim	108	2,91 Aab	2,91 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	3,02 Aa	2,98 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	2,91 Bab	3,04 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	2,81 Bb	3,01 Aa
Média Geral	---	2,94	
C.V. (%)	---	4,01	

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Produtividade	
		10 DAS	5 DAS
Testemunha capinada	---	1684,37 Aab ¹	1684,61 Aa
Atrazine+mesotrione	250+25	1747,79 Aab	1401,67 Ba
Atrazine+mesotrione	500+50	1505,44Aabc	1592,96 Aa
Atrazine+mesotrione	750+75	1225,01 Bc	1699,35 Aa
Clethodim	108	1413,04 Abc	1413,04 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	250+25/108	1507,02Aabc	1631,84 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	500+50/108	1783,56 Aa	1684,61 Aa
Atrazine+mesotrione+clethodim	750+75/108	1504,82Aabc	1515,88 Aa
Média Geral	---	1562,17	
C.V. (%)	---	14,25	

¹ Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey e T, respectivamente, a $p \leq 0,05$.

Ao se comparar as épocas de aplicação entre si, observou-se ocorrer diferenças para aplicação de atrazine + mesotrione (250 + 25 g ha⁻¹) e atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹) usados de modo isolado aos 10 e 5 DAS, respectivamente (Tabela 7). Para os demais tratamentos não ocorreu diferenças entre as épocas. Percebe-se diante desse resultado que o uso de atrazine + mesotrione em baixa dose (250 + 25 g ha⁻¹), próximo da semeadura (5 DAS); ou alta dose (750 + 75 g ha⁻¹) mais distante da semeadura (10 DAS), tem elevadas fitotoxicidades (Tabela 3) e, conseqüentemente, redução da produtividade de grãos de 19,80% (346 kg ha⁻¹) e 27,91% (474 kg ha⁻¹), respectivamente ao se comparar as duas épocas entre si (Tabela 7). Provavelmente esse fato decorre da elevada fitotoxicidade observada pela aplicação de atrazine + mesotrione em baixa dose, mais próximo da semeadura da canola ou em doses mais elevadas, porém mais distante da época de semear a cultura.

4 CONCLUSÃO

A aplicação nas maiores doses da mistura dos herbicida atrazine + mesotrione (500 + 50 e 750 + 75 g ha⁻¹) em isolado ou associado ao clethodim ocasionam as maiores porcentagens de fitotoxicidade ao híbrido de canola Nuola 300.

O uso em isolado da menor dose de atrazine + mesotrione (250 + 25 g ha⁻¹) e do clethodim (108 g ha⁻¹) apresenta a menor fitotoxicidade ao híbrido de canola Nuola 300.

O uso de atrazine + mesotrione (500 + 50 g ha⁻¹) associado ao clethodim (108 g ha⁻¹) aos 10 DAS e de atrazine + mesotrione (750 + 75 g ha⁻¹) as 5 DAS apresentam as maiores produtividades de grãos.

Em relação as variáveis fisiológicas a aplicação de atrazine + mesotrione nas doses de 500 + 50 e 750 + 75 g ha⁻¹, aos 10 dias antes da semeadura tem efeitos negativos ao híbrido de canola Nuola 300.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D. et al. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submitted to herbicides application. **Planta Daninha**, v.34, n.1, p.1-9, 2016.
- AGROFIT. Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 16 de maio de 2024.
- BRANDLER D. et al. Interference and level of economic damage of turnip in canola. **Revista Agrária Acadêmica**, v.4, n.1, p. 39-56, 2021.
- CARVALHO, S.J.P. et al. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. **Scientia Agricola**, v.66, n.1, p.136-142, 2009.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 4 junho 2024.
- CORREIA, N.M. et al. Seletividade de herbicidas para batata-doce. **Weed Control Journal**. v.20, e202100740, 2021a.
- CORREIA, N.M. Herbicidas. Proteção química da lavoura. **Informe Agropecuário**, v.42, n.315, p.48-58, 2021b.
- DALASTRA, G.M. et al. Trocas gasosas e produtividade de três cultivares de meloeiro conduzidas com um e dois frutos por planta. **Bragantia** v.73, n.4, p. 365-371, 2014.
- DURANTE, F. et al. Determinação de ácido erúico em mostarda de mesa. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.43, n.1/2, p. 33-40, 1983.
- DURIGON, M.R. et al. Properties of the enzyme acetolactate synthase in herbicide resistant canola. **Bragantia**, v. 77, p. 485-492, 2018.
- DURIGON, M.R. et al. Competitive ability of canola hybrids resistant and susceptible to herbicides. **Planta Daninha**, v.37, e019180593, 2019a.
- DURIGON, M.R. et al. Does spraying of atrazine on triazine-resistant canola hybrid impair photosynthetic process?. **Planta daninha**, v37:e019190367, 2019b.
- ESTEVEZ, R.L. et al. A cultura da canola (*Brassica napus* var. oleifeta). **Scientia Agraria Paranaensis**, v.13, n.1, p. 1-9, 2014.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FRANZ, E. et al. Habilidade competitiva de cultivares de Canola em competição com o Nabo. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.10, p. 82507-82523, 2020.

- GAINES, T.A. et al. Mechanisms of evolved herbicide resistance. **Journal of Biological Chemistry**, v.295, n.30, p.10307–10330, 2020.
- GALON, L. et al. Controle de plantas daninhas na cultura da canola com diferentes herbicidas. **Weed Control Journal**, v.20, e202100741, 2021.
- GALON, L. et al. Morphophysiological changes in clearfield oilseed rape as a result of the application of ALS-herbicides and weed competition. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v.129, p.993-1003, 2022.
- GALON, L. et al. Seletividade e eficácia de herbicidas aplicados em canola para controle de plantas daninhas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.22, n.2, p. 218–233, 2023.
- GUIMARÃES, C.G. et al. **Canola: panorama atual e tecnologias de produção no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2022. 69 p. (Embrapa Agroenergia, Documentos 40).
- GWATIDZO, V. et al. Understanding mechanisms of herbicide selectivity in agro-ecosystems: a review. **Advanced Chemicobiology Research**, v.2, n.1, p.79-88, 2023.
- HARKER, et al. Herbicide-tolerant canola: weed control and yield comparisons in western Canada. **Canadian Journal of Plant Science**, v.80, n.3, p. 647-654, 2000.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Dados climatológicos. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 11 abril 2024.
- KARAM, D. et al. **Características do herbicida mesotrione na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2004. P.1-6. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 52).
- KOZAR, E.V. et al. Imidazolinone resistance in oilseed rape (*Brassica napus* L.): Current status, breeding, molecular markers and prospects for application in hybrid seed purity improvement. **Horticulturae**, v.10, n.6, p.1-10, 2024.
- LEMERLE, D. et al. Agronomic interventions for weed management in canola (*Brassica napus* L.) – A review. **Crop Protection**, v.95, n.1, p. 69-73, 2017.
- MARCHI, G. et al. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Planaltina/DF: Embrapa Cerrados, 2008. p.36. (Embrapa Cerrados, Documentos, 227).
- MEROTTO Jr., A. et al. Tolerância da cultivar de soja Coodetec 201 aos herbicidas inibidores de ALS. **Planta Daninha**, v.18, n.1, p. 93-102, 2000.
- NICHELATI, F.D. et al. Interferência de plantas daninhas na cultura da canola (*Brassica napus* L.). **Ciência agrícola**, v. 18, n.1, p. 39-47, 2020.
- OLIVEIRA, Jr. R.S. et al. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA, Jr. et al. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax. p.243-262, 2011.

- OLIVER D.P. et al. Comparative environmental impact assessment of herbicides used on genetically modified and non-genetically modified herbicide-tolerant canola crops using two risk indicators. **Science of the Total Environment**, v.557, p.754-763, 2016.
- PEEL, M.C. et al. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, n.5, p. 1633-1644, 2007.
- PERUZZO, F.T. et al. Residual effect of atrazine and atrazine + simazine in soybean. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 64–72, 2020.
- ROBINSON, M.A. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) response to herbicides as affected by application timing and temperature. **Canadian Journal of Plant Science**, v.95, n.2, p.325-333, 2015.
- RODRIGUES, B.N. et al. **Guia de herbicidas**. 7ª ed. Londrina: Edição dos autores, 2018.
- SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, Brasil, 2016. 376 p.
- SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 5 ed., 356 p., 2018.
- SABBAHI, R. et al. Factors affecting the quality of canola grains and their implications for grain-based foods, **Foods**, v.12, n.11, p.2219, 2023.
- TOMM, G.O. et al. **Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 87p. (Embrapa Trigo, Documentos, 113).
- UMURZOKOV, M. et al. Alternative herbicides to manage unintentionally released transgenic canola. **Weed & Turfgrass Science**, v.8, p. 123-130, 2019.
- USDA. United States Department of Agriculture. Disponível em: <https://www.usda.gov>. Acesso em: 27 abril de 2024.
- VARGAS, L. et al. **Seletividade de herbicidas para a canola PFB-2**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p.14. (Embrapa Trigo, Documentos, 130).
- VELINI, E.D. et al. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 42 p., 1995.
- XAVIER, E. et al. Activity of antioxidant enzymes in *Euphorbia heterophylla* biotypes and their relation to crossresistance to ALS and Protox inhibitors. **Planta Daninha**, v.36, p. 1-14, 2018.