

Interferência e nível de dano econômico de azevém na cultura do centeio

Interference and economica threshold level of ryegrass in rye crop

Leandro Galon^{a,b*}, Juliane C. Portes^a, Leticia Bampia^a, Leonardo Brunetto^{a,b}, Camila V. de Oliveira^a, Vinicius Soligo^a, Sabrina C. Pigatto^a, Gismael F. Perin^a

^aLaboratório Manejo Sustentável dos Sistemas Agrícolas, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS, Brasil. ^bPrograma de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS, Brasil.

Resumo: Introdução: O azevém (*Lolium multiflorum*) é uma das plantas daninhas que mais causa perdas na produtividade de grãos do centeio (*Secale cereale*) por utilizar recursos limitados e essenciais ao crescimento da cultura.

Objetivo: identificar variáveis explicativas para determinar a habilidade competitiva e o nível de dano econômico (NDE) de azevém infestante do centeio.

Métodos: O experimento foi instalado a campo na safra 2018, em delineamento completamente casualizado. Os tratamentos foram compostos por genótipos de centeio (BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo) e 12 densidades de azevém em competição com a cultura, indo de 0 até o máximo de 68 plantas m⁻². Avaliou-se aos 30 dias após a emergência do feijoeiro, as variáveis, densidade de plantas, área foliar, cobertura de solo e massa seca da parte aérea do azevém. E no centeio determinou-se a produtividade de grãos, preço de venda, custo de controle e eficácia do herbicida.

Resultados: Os genótipos BRS Serrano e IPR 89 foram os mais competitivos e os menos competitivos o BRS Progresso e o Crioulo na presença do azevém. Os genótipos BRS Serrano e IPR 89 apresentaram maior desempenho competitivo e NDE, com valores de 2,28 a 8,23 plantas m⁻², respectivamente.

Conclusões: A produtividade de grãos, o preço da saca, a eficiência do herbicida e o custo de controle, causam variação dos valores de NDEs sendo os maiores para os genótipos BRS Serrano e IPR 89 de 2,28 a 8,23 plantas m⁻² e os menores para o BRS Progresso e Crioulo com 1,15 a 2,48 plantas m⁻² de azevém.

Abstract: Background: Ryegrass (*Lolium multiflorum*) is one of the most detrimental weeds to rye (*Secale cereale*) grain yield, as it competes for limited and essential resources needed for crop growth.

Objective: To identify explanatory variables for determining the competitive ability and economic damage level (EDL) of ryegrass infesting rye crops.

Methods: The field experiment was conducted during the 2018 growing season using a completely randomized design. Treatments consisted of rye genotypes (BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso, and Crioulo) and 12 ryegrass densities competing with the crop, ranging from 0 to a maximum of 68 plants m⁻². Thirty days after emergence, plant density, leaf area, soil cover, and shoot dry mass of ryegrass were evaluated. In rye, grain yield, selling price, control cost, and control efficacy were determined.

Results: The BRS Serrano and IPR 89 genotypes were the most competitive, while BRS Progresso and Crioulo were the least competitive in the presence of ryegrass. BRS Serrano and IPR 89 exhibited higher competitive performance and ETL, with values ranging from 2.28 to 8.23 plants m⁻², respectively.

Conclusions: Grain yield, market price, herbicide efficiency, and control cost influence ETL values, with the highest values observed for BRS Serrano and IPR 89 genotypes (2.28 to 8.23 plants m⁻²) and the lowest for BRS Progresso and Crioulo (1.15 to 2.48 plants m⁻² of ryegrass).

Palavras-chave: *Secale cereale*, *Lolium multiflorum*, interação competitiva.

Keywords: *Secale cereal*, *Lolium multiflorum*, competitive interaction.

Journal Information:

ISSN: 2763-8332

Website: <https://www.weedcontroljournal.org/>

Jornal da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas

Como citar: Galon L, Juliane CP, Bampi L, Brunetto L, Oliveira CV, Soligo V, Pigatto SC, Perin GF. Interferência e nível de dano econômico de azevém na cultura do centeio. Weed Control J. 2024;23:e202400847. <https://doi.org/10.7824/wcj.2024;23:00847>

Aprovado por:

Editor-Chefe: Cristiano Piasecki

Editor Associado: Antonio Mendes de Oliveira Neto

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à publicação deste manuscrito.

Recebido: Novembro 28, 2023

Aprovado: Outubro 28, 2024

* Corresponding author:

<leandro.galon@uffs.edu.br>



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Copyright: 2024

1. Introdução

O centeio destaca-se pela sua adaptabilidade, rusticidade, crescimento inicial vigoroso, resistência ao frio, à seca e à acidez do solo. Além disso, o centeio pode ser utilizado para produção de etanol, forragem verde, feno, cobertura de solo em sistema de plantio direto, alimentação humana e animal, dentre outros (Kaur et al., 2021a; Carrasco-Chilón et al., 2023), ganhando importância sócio-econômica nos últimos anos no período de estação fria no Sul do Brasil.

A expansão do centeio como alternativa produtiva para a estação fria decorre, dentre outros motivos, da otimização dos meios de produção (terra, equipamentos e pessoas), já utilizados nos cultivos de verão, mas também por representar uma espécie importante em sistemas de rotação de culturas. Assim, pode-se quebrar o ciclo das pragas e ciclar nutrientes para reduzir problemas fitossanitários de leguminosas, como a soja e o feijão, e/ou das gramíneas, como as culturas de verão, favorecendo a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis (Telles et al., 2019; Wang et al., 2019; Volsi et al., 2021).

Atualmente cultiva-se uma área próxima a 5,3 mil hectares no país, com produtividade média de 2,25 t ha⁻¹, produzindo em torno de 12 mil toneladas de centeio (Conab, 2023). No entanto a produtividade do centeio ainda está aquém das obtidas em lavouras tecnificadas ou áreas experimentais. Dentre os fatores que interferem para que se tenham altas produtividades destaca-se a interferência das plantas daninhas, principalmente o azevém (*Lolium multiflorum*) que pertence a mesma família (Poaceae/Gramineae) da cultura. As plantas que pertencem a mesma família botânica, geralmente apresentam características morfológicas similares e, desse modo, mais intensa será a competição (Agostinetto et al., 2017; Kim e Ohr, 2020). A competição ocorre quando uma ou mais plantas utilizam recursos (água, luz e nutrientes) similares e que normalmente são limitados no ambiente, sendo esses essenciais ao crescimento e desenvolvimento das espécies (Kim e Ohr, 2020; Singh et al., 2022).

O azevém é uma espécie anual de inverno, que ocasiona elevadas perdas na produtividade das culturas que infesta, em função da elevada competitividade que apresenta. Além disso, o azevém pode liberar substâncias alelopáticas no ambiente, produzir um elevado número de sementes, com facilidade de dispersão (Lamego et al., 2015; Agostinetto et al., 2017; Galon et al., 2019; Nichelati et al., 2020). Essa espécie pode ainda ser utilizada como adubação verde, planta de cobertura de solo, como forrageira de inverno, produção de feno, silagem, apresentando elevada ressemeadura natural, deiscência prematura, dormência das sementes, com elevado banco de sementes no solo (Lamego et al., 2013; Fernández-Moreno et al., 2017; Oliveira et al., 2019). Destaca-se ainda que o azevém demonstra muitos biótipos resistentes a herbicidas, inibidores de aceto lactato sintetase (ALS), de acetil coenzima A carboxilase (ACCCase) e da enol piruvil shiquimato fosfato sintetase (EPSPs) (Heap, 2024), o que dificulta o controle químico dessa espécie de planta daninha ao infestar as culturas semeadas no inverno.

A capacidade competitiva que uma cultura apresenta pode ser demonstrada pela tolerância que essa demonstra ou pela supressão do crescimento das plantas daninhas que as infesta devido à competição pelos recursos água, luz e nutrientes (Kim e Ohr, 2020; Singh et al., 2022). Algumas características como arquitetura de planta, índice de área foliar, estatura de planta, perfilhamento ou ramificações, massa seca, volume radicular, dentre outras que são expressas pela cultura, tendem a suprimir o crescimento, o desenvolvimento e a reprodução de espécies de plantas daninhas próximas (Agostinetto et al., 2010; Jha et al., 2017; Galon et al., 2022). Assim sendo, o estudo da interação que ocorre entre a cultura do centeio com o azevém torna-se relevante para a adoção do manejo cultural, podendo diminuir os custos de produção, bem como os impactos ambientais causados pelo uso desnecessário de herbicidas para controle dessa planta daninha.

Desse modo, o manejo do azevém utilizando-se outros métodos que não seja somente herbicidas, é importante para reduzir os problemas relacionados com a resistência dessa espécie e as perdas de produtividades que têm ocasionado ao infestar as culturas, principalmente as cultivadas no inverno. O conhecimento da habilidade competitiva e do nível de dano econômico (NDE) de genótipos de centeio em relação ao azevém torna-se importante para adoção de manejo integrado

dessa planta daninha. Porém os trabalhos realizados envolvendo essa cultura e a espécie daninha são escassos na atualidade.

O NDE somente se justifica caso os prejuízos causados pelas plantas daninhas forem iguais ou maiores que o custo da medida de controle utilizada e serve como base para tomada de decisão para o controle das mesmas ao infestarem as lavouras. Na ausência do NDE há dificuldade de manejar a cultura, além de poder ocasionar no uso desnecessário de herbicidas, elevar os custos de produção, gerando maior contaminação ambiental pelo uso excessivo do método químico de controle (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022). Desse modo, a aplicação de herbicidas será recomendada apenas em áreas onde a densidade de plantas daninhas exceder o NDE (Tavares et al., 2019; Brandler et al., 2021).

A hipótese do trabalho é que os genótipos de centeio apresentam diferenças na habilidade competitiva e no NDE quando infestados por biótipos de azevém. Sendo assim, objetivou-se com o trabalho testar modelos matemáticos e identificar variáveis explicativas para determinar a habilidade competitiva e o nível de dano econômico (NDE) de azevém na cultura do centeio.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, de junho a novembro de 2018. O local está situado na região fisiográfica do Alto Uruguai, do Rio Grande do Sul, Brasil, nas coordenadas geográficas 27°43'47"S de latitude e 52°17'37"W de longitude e 760 m de 760 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Alumino Férrico típico (Streck et al., 2018) e o clima predominante na região de acordo a classificação de Koppen é o Cfa, ou seja, subtropical úmido, com verão quente, chuvas uniformemente distribuídas, e a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, com precipitação de 1.100 a 2.000 mm, geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de dez a 25 dias anualmente (Peel et al., 2007). As condições meteorológicas ocorridas durante a condução do experimento estão dispostas na Figura 1.

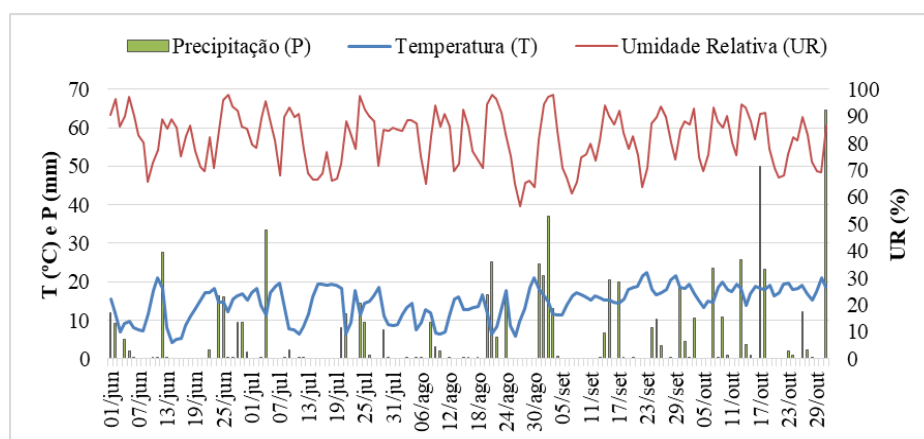


Figura 1. Precipitação pluviométrica mensal (mm), temperatura média e umidade relativa ocorridas de junho a outubro de 2018, no período de realização do experimento. Fonte: INMET, (2023).

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 do centeio (SBCS, 2016). As características químicas e físicas do solo foram: pH em água de 4,70; MO = 3,04%; P = 8,50 mg dm⁻³; K = 106 mg dm⁻³; Al³⁺ = 1,00 cmolc dm⁻³; Ca²⁺ = 5,10 cmolc dm⁻³; Mg²⁺ = 3,40 cmolc dm⁻³; CTC(t) = 9,90 cmolc dm⁻³; CTC(TpH=7,0) = 18,60 cmolc dm⁻³; H+Al = 9,70 cmolc dm⁻³; V = 48% e Argila = 64%.

Aos 15 dias antes da semeadura do centeio dessecou-se a área experimental com os herbicidas glyphosate + saflufenacil (1080 + 70 g ha⁻¹) + óleo mineral (0,5% v/v). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos compostos pelos genótipos de centeio (G1 - BRS Serrano, G2 - IPR 89, G3 - BRS Progresso e G4 - Crioulo), e 12 densidades de azevém infestando e competindo com cada um dos genótipos da cultura (G1 - 0, 6, 14, 15, 16, 19, 20, 22, 42, 44, 45 e 68; G2 - 0, 2, 3, 14, 23, 23, 24, 32, 34, 34, 44 e 58; G3 - 0, 3, 4, 4, 6, 8, 10, 18, 20, 35, 36 e 48; G4 - 0, 2, 2, 2, 3, 5, 5, 5, 6, 6, 13 e 28 plantas m⁻²). Os genótipos de centeio foram selecionados para o estudo em razão de serem os mais cultivados na região para a produção de grãos/ sementes, para alimentação humana ou animal ou como cobertura morta para adoção do sistema de plantio direto.

Como se tratava de área com infestação natural de azevém as diferentes densidades da planta daninha foram estabelecidas a partir do banco de sementes do solo, por meio da aplicação do herbicida iodosulfuron-methyl (5,0 g ha⁻¹) – Hussar® (100 g ha⁻¹) + espalhante adesivo à base de lauril éter sulfato de sódio – Hoefix® (0,3% v/v). A aplicação foi realizada com a utilização de um pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado de barra 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 o volume de calda de 150 L ha⁻¹.

Cada unidade experimental (parcela) foi composta por área de 13,60 m² (2,72 x 5,00 m), sendo semeadas 16 linhas, distanciadas entre si 0,17 m, em 19/06/2018. A semeadura das cultivares do centeio foi efetuada em faixas, de modo mecanizado utilizando-se uma semeadora/adubadora de fluxo contínuo. A densidade de semeadura dos genótipos de centeio foi de 44 sementes por metro linear ou aproximadamente 2.600.000 sementes ha⁻¹, o que proporcionou o estabelecimento de uma população de cerca de 260 plantas m⁻².

Para adubação de base foi utilizado 380 kg ha⁻¹ da fórmula 05-20-20 (N-P₂O₅-K₂O) e em cobertura aplicou-se 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de uréia (45% de N – 111 kg ha⁻¹) dividida em duas aplicações, uma quando o centeio estava no início do perfilhamento e outra no alongamento dos entrenós, de acordo com a análise química do solo e com a expectativa de rendimento de grãos da cultura (SBCS, 2016).

As densidades de plantas de azevém, objeto do estudo, foram protegidas com copos plásticos para que não sofressem os danos do herbicida em cada unidade experimental durante o estabelecimento dos tratamentos propostos. O herbicida iodosulfuron-methyl foi utilizado devido ao controle da planta daninha, à seletividade à cultura do centeio e por não persistir no solo (AGROFIT, 2024). Desse modo, ao se

proteger as plantas de azevém com copos plásticos não se tem absorção do produto pelas mesmas, tendo-se assim as densidades desejadas em cada unidade experimental. O iodosulfuron-methyl não apresenta registro para ser aplicado no controle de plantas daninhas em centeio, mas esta indicado à cultura do trigo para o controle da espécie *Lolium multiflorum* – azevém (AGROFIT, 2024). No entanto, esse herbicida foi utilizado no presente estudo pela experiência prévia que se teve no uso desse produto em outras pesquisas envolvendo a cultura do centeio para o controle de azevém, sendo seletivo e eficiente.

Em razão do azevém ser proveniente do banco de sementes do solo, o estabelecimento das densidades foi variado, pois fatores como infestação, dormência, vigor, umidade, entre outros, impedem que se estabeleça exatamente o mesmo número de plantas por área (unidade experimental). Fato esse também constatado por outros pesquisadores ao trabalharem com culturas e plantas daninhas avaliando o NDE (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019).

A quantificação das densidades de plantas (DP), área foliar (AF), cobertura do solo (CS) ou massa seca da parte aérea (MS) do azevém foram realizadas aos 30 dias após a emergência (DAE) da cultura. Para determinação da variável DP, foram realizadas contagens das plantas presentes em duas áreas de 0,25 m² (0,5 m x 0,5 m) por parcela. A quantificação da AF da planta competidora foi efetuada com um integrador eletrônico de AF portátil, modelo CI-203, marca CID Bio-Science, mensurando-se todas as plantas em uma área de 0,25 m² por parcela. A CS por plantas de azevém foi avaliada visualmente, de modo individual por dois avaliadores, utilizando-se escala percentual, na qual a nota zero corresponde à ausência de CS e a nota 100 representa cobertura total do solo. Após a aferição da AF, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel *kraft*, postas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 60±5°C para determinação da MS do azevém (g m⁻²) quando atingiu peso constante.

A quantificação da produtividade de grãos do centeio foi obtida pela colheita das plantas em área útil de 6,12 m² em cada unidade experimental (foram desconsideradas 2 linhas como bordaduras em cada lateral e descontando-se ainda 1 m no início e no final da parcela) quando o teor de umidade dos grãos atingiu aproximadamente 15%. Após pesagem dos grãos, foi determinada sua umidade e, posteriormente, as massas foram uniformizadas para 13%. Com os dados da produtividade de grãos, foram calculadas as perdas percentuais em relação às parcelas mantidas sem infestação (testemunhas), de acordo com a Equação 1:

$$\text{Perda (\%)} = \left(\frac{Ra - Rb}{Ra} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde: *Ra* e *Rb*: produtividade da cultura sem ou com presença da planta competidora, azevém.

Anteriormente à análise dos dados, os valores de MS (g m⁻²), CS (%) ou AF (cm²) foram multiplicados por 100, dispensando-se assim o uso do fator de correção no modelo (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022).

As relações entre perdas percentuais de produtividade do centeio em função das variáveis explicativas foram calculadas separadamente para cada genótipo, utilizando-se o modelo de regressão não linear derivada da hipérbole retangular, proposta por Cousens em 1985, conforme a Equação 2:

$$P_p = \frac{(i * X)}{(1 + (\frac{i}{a}) * X)} \quad (2)$$

onde: P_p = perda de produtividade (%); X = DP, CS, AF e MS do azevém; i e a = perdas de produtividade (%) por unidade de plantas de azevém quando o valor da variável se aproxima de zero e quando tende ao infinito, respectivamente. Para o procedimento de cálculos, foi utilizado o método de Gauss-Newton, o qual, por sucessivas iterações, estima os valores dos parâmetros, nos quais a soma dos quadrados dos desvios das observações, em relação aos valores ajustados, seja mínima (Agostinetto et al., 2010). O critério de aceitação do ajuste dos dados ao modelo baseou-se na significância do teste F ($p \leq 0,05$), no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e no menor valor do quadrado médio do resíduo (QMR).

Para o cálculo do nível de dano econômico (NDE) foi utilizado as estimativas do parâmetro i obtidas a partir da Equação 2 (Cousens, 1985), e a Equação adaptada de Lindquist e Kropff, (1996) – Equação 3:

$$NDE = \frac{(Cc)}{(R * P * (\frac{i}{100}) * (\frac{H}{100}))} \quad (3)$$

onde: NDE = nível de dano econômico (plantas m^{-2}); Cc = custo do controle (herbicida iodosulfuron-methyl + adjuvante Hoefix e aplicação terrestre tratorizada, em dólares ha^{-1}); R = produtividade de grãos do centeio ($kg\ ha^{-1}$); P = preço do centeio (dólares kg^{-1} de grãos); i = perda (%) de produtividade do centeio por unidade de planta competidora quando o nível populacional se aproxima de zero e H = nível de eficiência do herbicida (%).

Para as variáveis Cc , R , P e H (Equação 3) foram estimados três valores ocorrentes nos últimos 10 anos. Assim, para o custo de controle (Cc), considerou-se o preço médio (US\$ 41,00), sendo o custo máximo e mínimo alterado em 25%, em relação ao custo médio. A produtividade do centeio (R) foi baseada na menor, média ($1793\ kg\ ha^{-1}$) e maiores obtidas no Rio Grande do Sul, nos últimos 10 anos (Conab, 2023). O preço do produto (P) foi estimado a partir do menor, médio (US\$ 14,29) e maior preço do centeio por saca de 60 kg, nos últimos 10 anos. Os valores para a eficiência dos herbicidas (H) foram estabelecidos na ordem de 80, 90 e 100% de controle, sendo 80% o controle mínimo considerado eficaz da planta daninha (Velini et al., 1995).

3. Resultados e Discussão

Os valores da estatística F foram significativos às

variáveis explicativas, densidades de plantas (DP), área foliar (AF), cobertura do solo (CS) e massa seca da parte aérea (MS) do azevém ao infestar os genótipos de centeio BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo (Tabela 1). Os resultados demonstram que todos os genótipos apresentaram bom ajuste ao modelo da hipérbole retangular, com valores de R^2 maiores que 0,63 e baixo QMR (quadrado médio do resíduo). De acordo com Cargnelutti Filho e Storck (2007) ao trabalharem com variação genética, efeito de cultivares e a herdabilidade de genótipos de milho, consideraram como moderados a bom os valores de R^2 entre 0,57 a 0,66, o que corrobora, em partes com os resultados encontrados no presente estudo. Portes et al., (2023) ao avaliarem os genótipos de centeio, BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo, em competição com nabo observaram valores de R^2 superiores a 0,53, demonstrando assim melhor ajuste dos presentes dados ao modelo da hipérbole retangular.

O parâmetro i é considerado um índice para comparar a competitividade relativa entre as espécies, sendo que, quanto menores os valores desse parâmetro, mais competitiva é a cultura (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022; Portes et al., 2023). Observou-se, na média para todas as variáveis explicativas (DP, CS, AF e MS), que os genótipos BRS Serrano e o IPR 89 destacam-se por apresentarem os menores valores de i , sendo os mais competitivos (Tabela 1). Os genótipos de centeio menos competitivos ao serem infestados por azevém foram o BRS Progresso e o Crioulo. Portes et al. (2023) ao trabalharem com os genótipos de centeio BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo e Tavares et al. (2019) com cultivares de trigo em competição com nabo também encontraram diferenças em relação a habilidade competitiva dos diferentes materiais, levando-se em conta o parâmetro i , o que corrobora com os resultados observados na presente pesquisa.

A distinção que ocorre entre os genótipos de centeio em competição com o azevém provavelmente esteja associada as características genéticas diferenciadas que eles apresentam, ou seja, diferença em estatura, taxa de perfilhamento, ciclo de maturação, índice de área foliar, sistema radicular, velocidade de crescimento e desenvolvimento, dentre outros (Jha et al., 2017; Kaur et al., 2021b). Isso faz com que se tenha diferenciação na competição das culturas com as plantas daninhas, conforme visto por Portes et al. (2023) ao trabalharem com esses mesmos genótipos de centeio, porém em convivência com o nabo (*Raphanus sativus*). Outros trabalhos também identificaram a ocorrência de diferenças entre cultivares na presença de plantas daninhas, como cevada, trigo, canola e centeio ao serem infestados por azevém e nabo (Pies et al., 2019; Tavares et al., 2019; Brandler et al., 2021; Portes et al., 2023).

Ao se comparar os genótipos de centeio, BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo para a variável DP, com base no parâmetro i (perda unitária), observou-se perdas de produtividade de 1,35%; 2,92%; 4,48% e 5,81%, respectivamente para cada material envolvido na competição com o azevém (Tabela 1). Esse fato pode ser explicado pelas distintas características genéticas que cada material apresenta, conforme já descrito anteriormente e observado por outros pesquisadores ao trabalharem com a cevada (Pies et al., 2019), trigo (Tavares et al., 2019), canola (Brandler et al., 2021) e centeio (Portes et al., 2023). A competição

imposta pelo material genético torna-se potencial estratégia para o manejo integrado de plantas daninhas nos atuais programas de controle (Jha et al., 2017; Mahajan et al., 2020; Singh et al., 2022). Além disso, o centeio é uma cultura conhecida por sua capacidade de suprimir plantas daninhas

(Rebong et al., 2024). O uso do centeio como cultura de cobertura reduziu significativamente a densidade de plantas daninhas de folhas largas (entre 44 e 72%) e gramíneas (entre 43 e 88%) presentes na cultura do feijoeiro em comparação com os controles de solo descoberto (Flood e Entz, 2019).

Tabela 1. Ajustes obtidos para a perda de produtividade de grãos, em função da densidade de plantas, área foliar, cobertura do solo e massa seca da parte aérea de azevém (*Lolium multiflorum*) e dos genótipos de centeio (*Secale cereale*), BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo. UFFS, Campus Erechim/RS, 2018.

Cultivares	Parâmetros		R ²	QMR	F
	<i>i</i>	<i>a</i>			
Densidade de plantas de azevém					
BRS Serrano	1,35	80,86	0,72	40,21	92,16*
IPR 89	2,92	104,10	0,74	49,97	211,49*
BRS Progresso	4,48	52,48	0,82	14,49	304,64*
Crioulo	5,81	50,00	0,71	125,70	18,52*
Área foliar de azevém					
BRS Serrano	0,005	35,76	0,67	72,84	48,64*
IPR 89	0,005	55,17	0,99	208,00	47,02*
BRS Progresso	0,002	58,04	0,75	36,10	119,31*
Crioulo	0,004	33,33	0,71	123,60	18,92*
Cobertura do solo de azevém (%)					
BRS Serrano	0,03	43,23	0,71	87,75	39,52*
IPR 89	0,08	64,44	0,63	275,00	34,34*
BRS Progresso	0,03	61,74	0,75	41,12	104,11*
Crioulo	0,02	116,10	0,77	18,29	156,61*
Massa seca da parte aérea de azevém					
BRS Serrano	1,53	32,81	0,76	78,52	44,76*
IPR 89	0,80	61,45	0,99	195,70	50,28*
BRS Progresso	0,97	44,26	0,60	73,90	55,72*
Crioulo	0,41	51,73	0,81	45,23	60,38*

¹i e a: perdas de produtividades (%) por unidade de azevém quando o valor da variável se aproxima de zero ou tende ao infinito, obtidos pelo modelo da hipérbole retangular de Cousens (1985), $Y = (i \cdot X) / [1 + (i/a) \cdot X]$; respectivamente. * Significativo a $p \leq 0,05$. R²: Coeficiente de determinação. QMR: Quadrado médio do resíduo.

A alta biomassa do centeio cria uma cobertura do solo que reduz a disponibilidade de luz e nutrientes para as plantas daninhas, inibindo sua competitividade (Rebong et al., 2024). No entanto, além da alta biomassa produzida, cultivares de centeio podem diferir em até 10 vezes na produção de compostos aleloquímicos (Reberg-Horton et al., 2005; Brooks et al., 2012), que possuem efeitos fitotóxicos e limitam a germinação e o crescimento de diversas espécies de plantas daninhas (Mushtaq et al., 2024). Assim, a adoção desse manejo cultural pode reduzir significativamente o uso de herbicidas, diminuindo a resistência das plantas daninhas, os custos de produção e a contaminação ambiental e humana, além de possibilitar a produção de alimentos mais saudáveis. No caso do centeio, essa abordagem é especialmente relevante, uma vez que existem poucos herbicidas registrados e recomendados para o controle de plantas daninhas infestantes dessa cultura. Dessa forma, é possível promover uma convivência mais equilibrada entre a cultura do centeio e

as infestações de plantas daninhas, favorecendo a sustentabilidade do cultivo.

Ao se comparar a menor (2 plantas m⁻²) contra a maior (68 plantas m⁻²) densidades de azevém que infestaram os genótipos de centeio, ocorreu oito vezes mais perdas na produtividade de grãos à medida que houve acréscimo no números do competidor em convivência com a cultura (Tabela 1). Ressalta-se que é comum se encontrar em lavouras de inverno elevadas densidades de azevém tornando assim importante o manejo dessa espécie daninha pela elevada habilidade competitiva que apresenta ao infestar a cultura do centeio. Galon et al. (2019) observaram elevadas perdas de produtividade de grãos de cultivares de trigo com o aumento da densidade de plantas de azevém ao competirem com a cultura, o que se assemelha ao encontrado no presente estudo.

Em virtude do centeio ser uma planta mais rustica que os demais cereais de inverno (inclusive o trigo), com maior

estatura e que assim compete melhor pelo recurso luz, no presente trabalho ao se simular uma infestação de 50 plantas m^{-2} de azevém que infestassem o cereal esse demonstra perda média de grãos superior a 45%, para todos os genótipos avaliados. Além disso, o centeio apresenta efeitos alelopáticos que suprimem o desenvolvimento de outras plantas ao seu redor (Ferreira et al., 2017). A competição do centeio com o azevém afeta quanti e qualitativamente a produção, pois as plantas daninhas modificam a eficiência da cultura em aproveitar os recursos disponíveis no ambiente, como água, luz, CO_2 e nutrientes. Além disso, por pertencerem a mesma família botânica (Poacea/Gramineae) há similaridade na busca e uso dos recursos do ambiente (Kaur et al., 2018; Little et al., 2021; Esposito et al., 2023).

Os resultados para perda de produtividade dos genótipos de centeio, em relação ao percentual de CS, demonstram semelhança ao observado para DP. Ocorreu perda média de produtividade de mais de 49% ao se comparar uma CS de 5 contra 10% (Tabela 1). Desse modo percebe-se que o aumento da CS do azevém, mesmo que seja de 5%, ocasiona incremento de quase 50% das perdas de produtividade de grãos dos genótipos de centeio. O azevém destaca-se como uma planta daninha muito competitiva quando infesta as culturas agrícolas semeadas no inverno no Sul do Brasil. Isso ocorre em virtude da adaptabilidade e rusticidade que o azevém apresenta, o que ocasiona maior crescimento e consequentemente maior CS o que reflete na redução da produtividade de grãos dos genótipos de centeio. Esse fato também foi constatado por outros pesquisadores envolvendo o azevém infestante de outras culturas agrícolas, como cevada (Tironi et al., 2014); trigo (Paula et al., 2011; Fernando et al., 2019) e canola (Nichelati et al., 2020).

O genótipo de centeio BRS Progresso foi 2,3 vezes mais competitivo, ao se comparar as perdas médias de produtividades de grãos expressas pelo parâmetro i , deste material contra os demais, BRS Serrano, IPR 89 e Crioulo para a variável AF (Tabela 1). Os genótipos de centeio BRS Serrano, IPR 89 e Crioulo apresentaram as maiores perdas de produtividade, respectivamente: 0,005; 0,005 e 0,004%, em relação ao BRS Progresso (0,002%). Assim sendo, pode-se inferir que o grau de competição do azevém em relação ao centeio é influenciado pela AF, ou seja, quanto mais AF, apresentar a planta daninha por unidade relativa mais competitiva a mesma será em relação a cultura.

Na presente pesquisa denota-se que o azevém apresenta elevada habilidade ao infestar o centeio, já que com o incremento da DP, CS e da AF do competidor, resultou em elevada perda de produtividade de grãos da cultura (Tabela 1). Os resultados desse estudo corroboram com os obtidos em outras pesquisas ao observarem que à medida que o azevém apresentava maior desenvolvimento e crescimento ocasionava elevadas perdas na produtividade e da qualidade de grãos do trigo (Fernando et al., 2019), da canola (Nichelati et al., 2020) e da cevada (Galon et al., 2022).

Ocorreu perdas estimadas pelo modelo da hipérbole retangular na produtividade de grãos dos genótipos de centeio, BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo de 27,02%; 34,75%; 30,39% e 22,87%, respectivamente, com o acúmulo de 100 $g\ m^{-2}$ de MS do azevém (Tabela 1). O azevém é uma das principais plantas daninhas infestantes das culturas

semeadas no inverno no Sul do Brasil e de difícil controle com uso de herbicidas, pela escassez de produtos registrados para o centeio (AGROFIT, 2024), ou mesmo pelo fato dessa espécie demonstrar resistência aos herbicidas inibidores das enzimas ALS, EPSPs e ACCase (Heap, 2024) mais utilizado para o controle químico dessa planta. Mittelman et al. (2010) relataram que o azevém pode produzir de 4548,8 a 7159,5 $kg\ ha^{-1}$ de MS, desse modo percebe-se a elevada capacidade de competição dessa espécie ao infestar as culturas de inverno, dentre elas o centeio.

Observou-se que quando o azevém aumentou o acúmulo de MS de 25 para 50 $g\ m^{-2}$ ocorreu uma perda média de grãos dos genótipos de centeio de 33%, ou seja, para cada 1 g de incremento de MS do competidor ocorreu o decréscimo de 1,32% da produtividade de grãos da cultura (Tabela 1). O azevém causou redução de 33,33; 40,00 e 63,96% na produção de AF, MS e de grãos, respectivamente, da cultivar de trigo Fundacep 52 (Paula et al., 2011). Ao ocorrer redução da AF da cultura pela competição com plantas daninhas, normalmente acontece menor acúmulo também na MS, devendo-se isso provavelmente a menor produção de fotoassimilados efetuado pela cultura (Yang et al., 2021).

Sendo o parâmetro i um índice usado para comparar a competitividade relativa entre espécies (Agostinetto et al., 2010; Brandler et al., 2021) observou-se valores diferenciados para os genótipos de centeio, BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo nas variáveis explicativas testadas (Tabela 1). A comparação entre os genótipos, considerando o parâmetro i , na média das quatro variáveis explicativas (DP, CS, AF ou MS), demonstrou que a ordem de colocação, em relação a competitividade foi: BRS Serrano > IPR 89 > BRS Progresso > Crioulo. Ao serem avaliadas cultivares de trigo em competição com densidades de azevém foi observado diferenças entre os materiais na presença da planta daninha (Galon et al., 2019), o que se assemelha aos resultados do presente estudo. A distinção denotada entre os resultados relacionados com as cultivares podem ser atribuídas ao conjunto de características morfofisiológicas inerentes às diferenças que existem entre os genótipos de uma mesma espécie (Lemerle et al., 2017; Brandler et al., 2021), ao melhor aproveitamento dos recursos disponíveis no meio (luz, água e nutrientes) e algumas práticas de manejo (Agostinetto et al., 2010; Kaur et al., 2018). Cabe destacar ainda que a competição imposta pelo tipo de material genético torna-se potencial estratégia para o manejo integrado de plantas daninhas nos atuais programas de controle (Jha et al., 2017; Sun et al., 2021) e desse modo reduzir o uso de herbicidas, especialmente para o azevém que já demonstra resistência aos produtos inibidores de ACCase, ALS e EPSPs (Heap, 2024).

Destaca-se que os genótipos BRS Serrano e IPR 89 apresentaram as menores perdas de produtividade na média do parâmetro i avaliado nas variáveis DP, AF, CS e MS (Tabela 1). No entanto, foram os que demonstram as menores produtividades de grãos (833 e 832 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente) se comparados com o BRS Progresso (989 $kg\ ha^{-1}$) e Crioulo (1042 $kg\ ha^{-1}$). Os genótipos de centeio apresentam potenciais produtivos distintos, sendo assim, nesse estudo observou-se que os materiais menos produtivos apresentam maior capacidade de competir com o azevém, muito possivelmente pela menor necessidade de alocação dos recursos em outros

órgãos da planta e não para as espigas. A arquitetura foliar e o arranjo de plantas são fatores que influenciam na absorção da radiação solar e na fotossíntese, elementos que apresentam relação direta com o desenvolvimento de órgãos reprodutivos para o enchimento e peso de grãos de culturas agrícolas (Yang et al., 2021).

As estimativas do parâmetro a , independentemente da variável explicativa, foram todos inferiores a 100% (Tabela 1), exceto para a DP e CS envolvendo os genótipos IPR 89 e Crioulo, respectivamente em que se teve valores superiores a 100% (Tabela 1). Mesmo que em duas situações tenham ocorrido valores superiores a 100% pode-se dizer que é possível simular adequadamente as perdas máximas de produtividade de grãos do centeio com as densidades utilizadas de azevém. Perdas superiores a 100% podem ocorrer quando as maiores densidades da planta daninha não foram suficientes para estimar adequadamente a perda máxima de produtividade de grãos da cultura (Cousens, 1985).

De forma similar ao observado no presente estudo, Portes et al., (2023) ao avaliarem genótipos de centeio infestados por nabo também observaram a ocorrência de perdas máximas inferiores a 100% para as variáveis DP, CS, AF e MS, corroborando assim com os resultados do presente estudo. Ressalta-se ainda que quanto maior for o potencial produtivo das culturas e se as condições de fertilidade do solo, de disponibilidade de água e de luminosidade forem adequadas, tem-se como consequência uma menor perda percentual diária causada por uma determinada espécie de planta daninha (Agostinetto et al., 2010; Kaur et al., 2018).

A comparação entre as variáveis explicativas para todos os genótipos de centeio avaliados demonstrou melhor ajuste ao modelo para as variáveis $DP > MS > CS > AF$, considerando os maiores valores médios do R^2 e do F , e os menores valores médios do QMR (Tabela 1). Desse modo percebe-se que a DP pode ser usada para estimar as perdas de produtividades de grãos do centeio. Fato esse também constatado por Portes et al. (2023) ao avaliarem a competição de genótipos de centeio infestadas por nabo, observaram que pode-se estimar a perda de produtividades de grãos usando-se a DP.

O azevém demonstrou elevada capacidade de competição com a cultura do trigo (Lamego et al., 2015; Galon et al., 2019) e da canola (Nichelati et al., 2020), além de apresentar alta ressemeadura natural, dormência de sementes, grande produção de biomassa, sistema radicular profundo (Fernández-Moreno et al., 2017; Oliveira et al., 2019) e resistência aos herbicidas inibidores de ALS, ACCase e EPSPs (Oliveira et al., 2019; Heap, 2024) o que contribui para reduzir o potencial de produção das lavouras, especialmente as cultivadas no inverno na região Sul do Brasil. Destaca-se que a dificuldade de se controlar na atualidade o azevém deve-se a boa adaptação que esse demonstra as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, pelo uso da espécie como cobertura de solo no sistema de plantio direto na palha ou principalmente como forragem de inverno destinado para alimentação animal, o que contribui para aumentar o banco de sementes do solo (Lamego et al., 2015; Oliveira et al., 2019), tornando-se uma planta daninha

problemática para ser manejada ao infestar as lavouras.

Para realizar a simulação dos valores de nível de dano econômico – NDE foi utilizado a variável explicativa densidade de plantas (DP) do azevém em razão desta ter apresentado melhor ajuste ao modelo da hipérbole retangular, por ser a mais empregada em experimentos com esse objetivo ou mesmo por apresentar algumas vantagens com relação às demais, como a facilidade, rapidez, precisão e baixo custo para a determinação (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Brandler et al., 2021; Galon et al., 2022; Portes et al., 2023).

O êxito na implantação de sistemas de manejo de azevém infestante da cultura do centeio pode decorrer da determinação na densidade que excede o NDE. O NDE mais baixo ocasionado pelas densidades de azevém para os quatro genótipos de centeio em função da produtividade de grãos, custo de controle, preço do centeio e eficiência do herbicida foram observados no Crioulo com valor médio de 1,54 plantas m^{-2} (Figuras 2, 3, 4 e 5). Adotando-se esses mesmos critérios, o NDE foi alcançado com 1,99; 3,06 e 6,61 plantas m^{-2} de azevém aos genótipos BRS Progresso, IPR 89 e BRS Serrano, respectivamente. Observou-se que os genótipos BRS Serrano, IPR 89 e BRS Progresso apresentaram os maiores valores de NDE em todas as simulações realizadas, tendo variações de 1,49 a 8,23 plantas m^{-2} . Os menores valores de NDE foi obtido com o genótipo Crioulo com variações de 1,15 à 1,91 plantas m^{-2} . As diferenças observadas em relação aos NDEs devem-se, conforme já relatado anteriormente, as distintas características genéticas existentes entre os materiais testados, conforme já relatado para cultivares de trigo infestadas por azevém (Lamego et al., 2015; Galon et al., 2019).

A produtividade de grãos, o custo de controle, o preço pago à saca do centeio e a eficiência do herbicida influenciaram no NDE do azevém sobre a cultura. Quando os genótipos de centeio diminuíram a produtividade de grãos em 776 $kg\ ha^{-1}$ (de 2264 a 1488 $kg\ ha^{-1}$) a densidade de azevém necessária para atingir o NDE foi incrementada em 52% para os genótipos BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo (Figura 2). Assim sendo observa-se que o aumento da expectativa de produtividade da cultura poderá ser menos influenciada pela competição das plantas daninhas. Esse fato também foi relatado por Portes et al. (2023) ao avaliarem genótipos de centeio infestados por densidades de nabo ou cultivares de trigo na presença de biótipos de azevém (Galon et al., 2019). Ao se aumentar o custo de controle em US\$ 20,50 de 30,75 para US\$ 51,25 a densidade de azevém necessária para atingir o NDE foi incrementada em mais de 39%, para todos os genótipos de centeio. A redução no preço da saca de grãos do centeio em US\$ 2,41 (de 15,40 para US\$ 12,99) foi necessário o incremento na densidade do azevém para atingir o NDE de 15,51%, para os quatro genótipos de centeio. Outros trabalhos também relataram que a redução no valor pago pela saca de grãos de trigo (Tavares et al., 2019) ou de centeio (Portes et al., 2023) incrementou a densidade de nabo necessária para se atingir o NDE da planta daninha sobre as culturas, assemelhando-se assim aos dados do presente estudo.

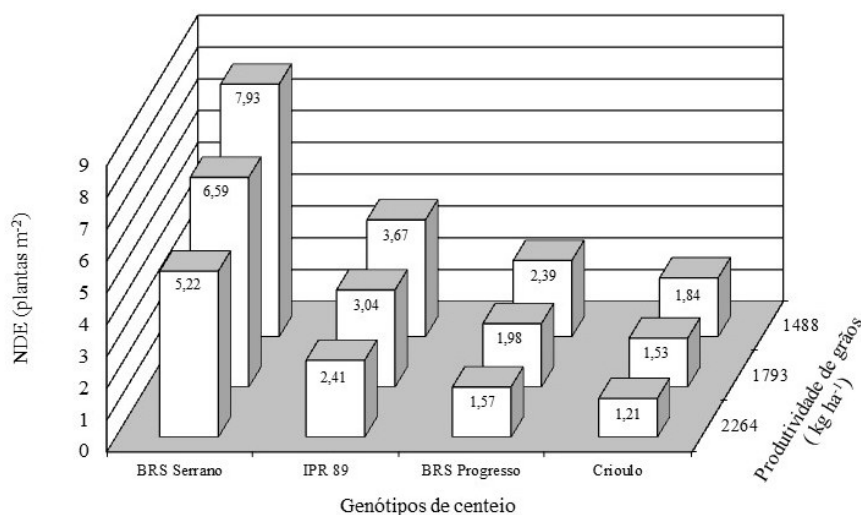


Figura 2. Nível de dano econômico (NDE) em função da produtividade de grãos e genótipos de centeio.

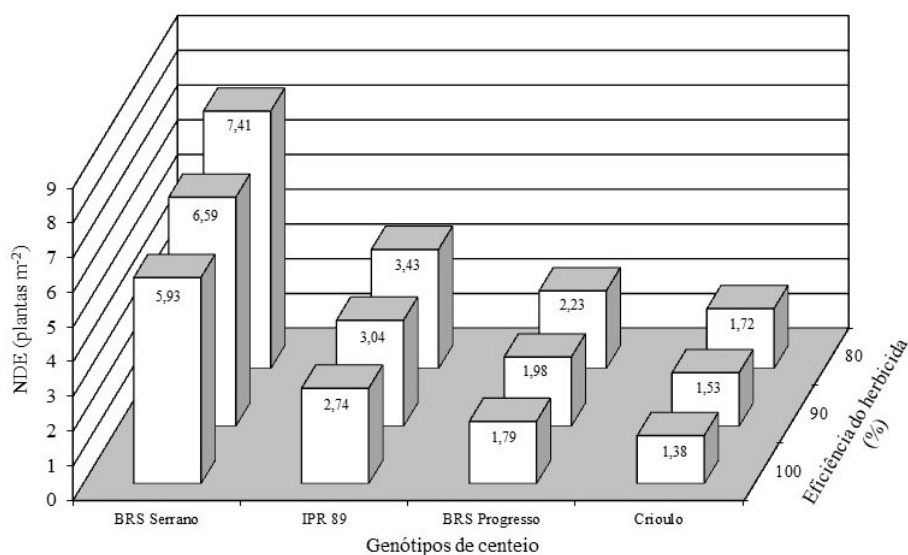


Figura 3. Nível de dano econômico (NDE) em função da eficiência do herbicida e genótipos de centeio.

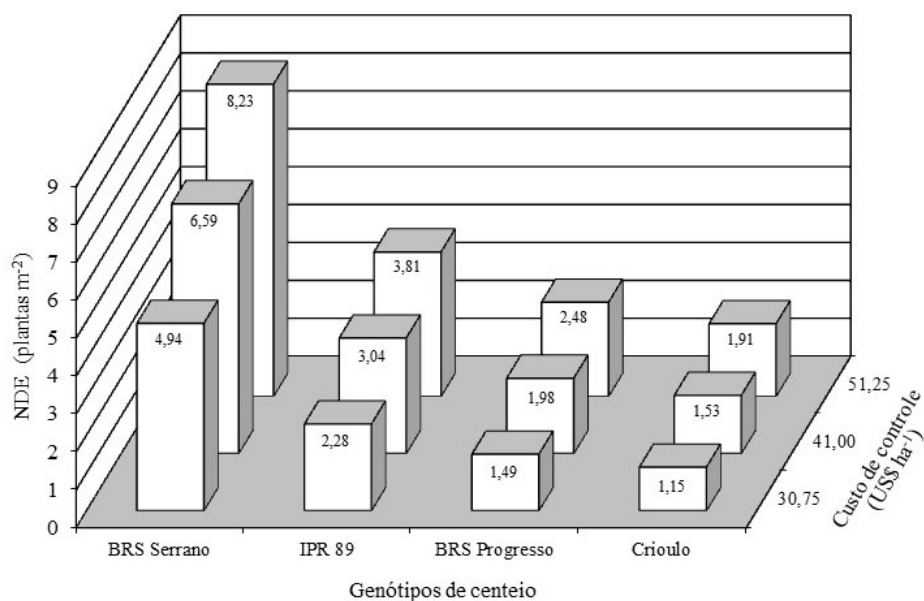


Figura 4. Nível de dano econômico (NDE) em função do custo de controle e genótipos de centeio.

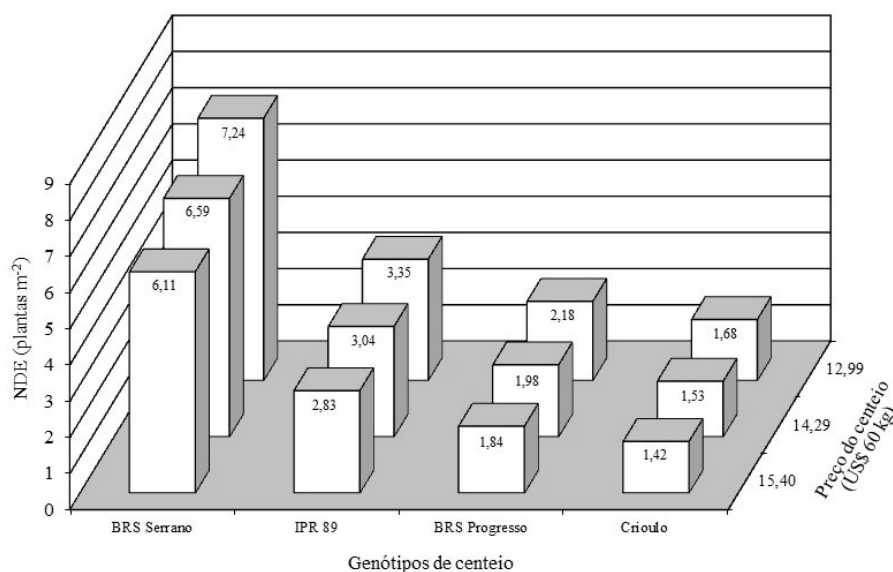


Figura 5. Nível de dano econômico (NDE) em função do preço pago e genótipos de centeio.

Com a redução da eficiência do herbicida em 20%, ou seja, passando de 100% para 80%, a densidade de azevém necessária para atingir o NDE foi incrementada em aproximadamente 20% levando-se em conta os genótipos de centeio BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo (Figura 2). De forma similar ao presente estudo, Portes et al. (2023) também constaram um incremento de 20% da densidade de nabo para se atingir o NDE ao infestar os mesmos genótipos de centeio testados no presente estudo.

As oscilações entre a maior e a menor produtividade de grãos, custo de controle, preço da saca (60 kg) e eficiência do herbicida influenciou na média dos quatro genótipos de centeio (BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo) ocorrendo variações de cerca de 34, 40, 16 e 20%, respectivamente (Figuras 2, 3, 4 e 5). Ao se levar em conta os dados médios das variáveis produtividade de grãos, custo de controle, preço da saca de centeio e eficiência do herbicida para os genótipos BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo ocorreu uma variação média do NDE de cerca de 9% ao se comparar contra as médias dos menores e maiores valores. Outras pesquisas encontraram resultados similares aos do presente estudo ao trabalharem com trigo (Tavares et al., 2019), canola (Brandler et al., 2021), cevada (Galon et al., 2022) e centeio (Portes et al., 2023) infestados por azevém e nabo.

Os genótipos de centeio BRS Serrano e IPR 89 apresentaram os melhores resultados para o cálculo do NDE levando-se em conta a produtividade de grãos, ou seja, esses podem conviver com um número mais elevado de plantas de azevém quando comparados com o BRS Progresso e o Crioulo (Figura 2). Observou-se assim que quanto maior for o potencial produtivo da cultura, menor será a densidade de plantas necessária para ultrapassar os valores de NDE, tornando compensatória adoção de medidas de controle da planta daninha. Na média dos genótipos de centeio, BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo, comparando-se a menor com a maior produtividade de grãos, verificou-se diferença no NDE de aproximadamente 40%. De modo similar foi relatado que quanto maior o potencial produtivo de híbridos de canola (Brandler et al., 2021) e de genótipos de

centeio (Portes et al., 2023) menores foram os valores de NDE quando em convivência com o nabo. O NDE de azevém e nabo infestantes de cultivares de trigo (Galon et al., 2019; Tavares et al., 2019) eleva-se à medida que diminui o preço do cereal, aumentando o custo do controle e o preço do trigo o que reduz o impacto do custo de controle dessa planta daninha, com maior retorno econômico da cultura.

Ao se levar em conta o custo de controle do azevém em todos os genótipos, observou-se que foi de aproximadamente 40% menor o custo mínimo ao se comparar com o custo máximo (Figura 4). Desse modo quanto maior for o custo do método de controle, maiores são os NDE e mais plantas de azevém m^{-2} são necessárias para justificar às medidas de controle. Portes et al., (2023) encontraram diferenças de 41% ao compararem os custos máximos com os mínimos para nabo ao infestar os genótipos de centeio BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo, o que se assemelha aos resultados do presente estudo.

O resultado médio dos genótipos BRS Serrano, IPR 89, BRS Progresso e Crioulo ao se comparar o maior contra o menor preço pago por saca de centeio verificou-se incremento de 16% no valor do NDE (Figura 5). Portanto, quanto menor for o preço pago a saca de centeio maior será a densidade necessária de azevém para ultrapassar o NDE e assim compensar a adoção de algum método de controle. Ao avaliarem cultivares de trigo (Galon et al., 2019; Tavares et al., 2019), de cevada (Galon et al., 2022) e híbridos de canola (Brandler et al., 2021) em competição com azevém e nabo foi observado variação similares as denotadas no presente estudo ao compararem o maior contra o menor valor pago a saca das culturas testadas.

Em relação à eficiência do método químico de controle com uso de herbicida, observou-se que a eficiência média (90%) ao se comparar com a menor (80%) ou a maior (100%) tem-se alterações do NDE de aproximadamente 10 e 12%, respectivamente (Figura 3). Assim sendo, o nível de controle influencia o NDE, e, quanto mais elevada a eficiência do herbicida, menor o NDE, ou seja, menor número de plantas de azevém m^{-2} necessárias para adotar alguma medida de controle. Ocorreu diferenciação próxima a 11 e a 10% ao se

comparar a eficiência de herbicidas de 90 contra 80 e 100%, respectivamente para híbridos de canola (Brandler et al., 2021) e genótipos de centeio (Portes et al., 2023) ao conviverem com nabo, o que se assemelha aos resultados ocorrentes no presente trabalho.

Os NDEs variaram de acordo com os genótipos de centeio, com maiores valores para BRS Serrano > IPR 89 > BRS Progresso > Crioulo (Figuras 2, 3, 4 e 5). Ao pesquisarem a competição de azevém e nabo sobre cultivares de trigo (Galon et al., 2019; Tavares et al., 2019), híbridos de canola (Brandler et al., 2021) e cultivares de cevada (Galon et al., 2022) foi constatado comportamento distinto para o NDE. E isso foi relacionado principalmente com as características intrínsecas que os genótipos demonstram entre si na presença das plantas daninhas, corroborando com o encontrado no presente estudo. Algumas pesquisas evidenciam que cultivares de centeio, cevada e de trigo tem demonstrado comportamento particularizado quanto as variáveis morfológicas e de produtividade ao competirem com espécies de plantas daninhas. Essa diferença em termos de habilidade competitiva pode ser atribuída ainda com efeitos alelopáticos, espécie, velocidade de crescimento e desenvolvimento, ciclo, densidade e distribuição das plantas quando em competição (Lamego et al., 2015; Tavares et al., 2019; Sun et al., 2021).

Entre os fatores que estão atrelados a interferência imposta pelas plantas daninhas sobre as culturas deve-se a competição pelos fatores do meio como; água, luz e nutrientes ou mesmo a densidade de plantas, a época de emergência dessas quando em comunidade ou mesmo a forma de manejo adotado com as culturas pelos produtores (Agostinetto et al., 2010; Jha et al., 2017; Brandler et al., 2021; Galon et al., 2022; Smith e Burns, 2022). O uso do NDE como uma ferramenta para o controle de plantas daninhas deve ser

associado com boas práticas agrícolas de manejo em centeio, já que sua implantação somente se justifica nas lavouras que utilizem rotação de culturas, arranjo adequado de plantas, uso de cultivares mais competitivas, épocas adequadas de semeadura, correção da fertilidade do solo, dentre outras.

4. Conclusões

A variável densidade de plantas apresenta melhor ajuste a hipérbole retangular estimando adequadamente as perdas de produtividades de grãos do centeio pela interferência do azevém. Os genótipos de centeio BRS Serrano e IPR 89 foram os mais e o BRS Progresso e o Crioulo os menos competitivos na presença do azevém. Os maiores valores de nível de dano econômico foram observados para os genótipos BRS Serrano e IPR 89 que variaram de 2,28 a 8,23 plantas m⁻² e os menores o BRS Progresso e Crioulo que apresentaram 1,15 a 2,48 plantas m⁻² de azevém. Os níveis de dano econômico diminuem com o aumento da produtividade de grãos, do preço da saca do centeio, da eficiência do herbicida e com a redução no custo de controle do azevém, justificando a adoção de medidas de controle em menores densidades da planta daninha.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), pelo auxílio financeiro à pesquisa e pelas concessões de bolsas.

Referências

- Agostinetto D, Galon L, Silva JMBV, Tironi SP, Andres A. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. *Planta Daninha*. 2010; 28(número especial): 993-1003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000500007>
- Agostinetto D, Tarouco C.P, Nohatto, MA, Oliveira C, Fraga DS. Metabolic activity of wheat and ryegrass plants in competition. *Planta Daninha*. 2017; 35(e017155463). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100044>
- AGROFIT/Mapa. Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários - Consulta Aberta. 2024. Disponível em: <<http://www.agrofit.agricultura.gov.br/agrofit/>>. Acesso em: 18/10/2024.
- Brandler D, Galon L, Mossi AJ, Pilla TP, Tonin RJ, Bianchessi F. et al. Interference and level of economic damage of turnip in canola. *Revista Agraria Academica*. 2021; 4(1): 39-56. Disponível em: <https://doi.org/10.32406/v4n5/2021/39-56/agrariacad>.
- Brooks, AM, Reberg-Horton, SC, Burton, JD, Danehower, DA, Murphy, JP. Estimation of heritability of benzoxazinoid production in rye (*Secale cereale*) using gas chromatographic analysis. *Plant Breeding*. 2012; 131 (1):104-109. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2011.01885.x>
- Cargnelutti Filho A, Storck L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2007; 42(1): 17-24. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000100003>
- Carrasco-Chilón WL, Alvarez-García WY, Peralta MEC, Quilcate C, Vásquez HV. Rye production under acid soils and drought conditions: an alternative for the sustainability of high andean livestock farming in Peru. *Sustainability*. 2023;15(14): 1-12. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151411431>
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas das safras: área, produtividade e produção. 2023. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 28/09/2023.

- Cousens R. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. *Journal of Agricultural Science*. 1985; 105(3): 513-521. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859600059396>
- Esposito M, Westbrook AS, Maggio A, Cirillo V, DiTommaso A. Neutral weed communities: The intersection between crop productivity, biodiversity, and weed ecosystem services. *Weed Science*. 2023; 71(4): 301-311. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2023.27>.
- Fernández-Moreno PT, Cruz RA, Smeda RJ, De Prado R. Differential resistance mechanisms to glyphosate result in fitness cost for *Lolium perenne* and *L. multiflorum*. *Frontiers in Plant Science*. 2017; 8: 1-16. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01796>
- Fernando N, Florentine SK, Naiker M, Panozzo J, Chauhan BS. Annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud) competition altered wheat grain quality: A study under elevated atmospheric CO₂ levels and drought conditions. *Food Chemistry*. 2019; 276: 285-290. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.145>
- Ferreira JPB, Melo MA, Onofre GA, Vieira AC, Sabundjian MT. Cultura do centeio. *Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT*. 2017; 1(1): 1-7.
- Flood HE, Entz MH. Effects of a fall rye cover crop on weeds and productivity of *Phaseolus beans*. *Canadian Journal of Plant Science*. 2019; 99(1): 22-33. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0161>
- Galon L, Basso FJB, Chechi L, Pilla TP, Santin CO, Bagnara MAM. et al. Weed interference period and economic threshold level of ryegrass in wheat. *Bragantia*. 2019; 78(3): 409-422. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180426>
- Galon L, Basso FJM, Forte CT, Bagnara MAM, Gallina A, Aspiázú, I. et al. Weed interference period and economic threshold level in barley. *Journal of Plant Protection Research*. 2022; 62(1): 33-48. Disponível em: <https://doi.org/10.24425/jppr.2022.140295>
- Heap, I. International survey of herbicide-resistant weeds. Disponível em: <<http://www.weed science.org>>. Acesso em: 30/10/2024.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Histórico de dados meteorológicos. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>.
- Jha P, Kumar V, Godara RK, Chauhan BS. Weed management using crop competition in the United States: A review. *Crop Protection*. 2017; 95 (1): 31-37. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.021>
- Kaur P, Sandhu KS, Purewal SS, Kaur M, Singh SK. Rye: A wonder crop with industrially important macromolecules and health benefits. *Food Research International*. 2021a; 150: 1-14. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110769>
- Kaur P, Sachan S, Sharma A. Weed competitive ability in wheat: a peek through in its functional significance, present status and future prospects. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2021b; 27(10): 2165-2179. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01079-y>
- Kaur S, Kaur R, Chauhan BS. Understanding crop-weed-fertilizer-water interactions and their implications for weed management in agricultural systems. *Crop Protection*. 2018; 103: 65-72. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.09.011>
- Kim D, Ohr, S. Coexistence of plant species under harsh environmental conditions: an evaluation of niche differentiation and stochasticity along salt marsh creeks. *Journal of Ecology and Environment*. 2020; 44(19): 1-16. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41610-020-00161-y>
- Lamego FP, Ruchel Q, Kaspary TE, Gallon M, Basso CJ, Santi AL. Habilidade competitiva de cultivares de trigo com plantas daninhas. *Planta Daninha*. 2013; 31(3): 521-531. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000300004>
- Lamego FP, Reinehr M, Cutti L, Aguiar ACM, Rigon CAG, Pagliarini IB. Alterações morfológicas de plântulas de trigo, azevém e nabo quando em competição nos estádios iniciais de crescimento. *Planta Daninha*. 2015; 33(1): 13-22. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000100002>
- Lemerle D, Luckett, DJ, Wu H, Widderick, MJ. Agronomic interventions for weed management in canola (*Brassica napus* L.) – A review. *Crop Protection*. 2017; 95(1): 69-73. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.007>
- Lindquist JL, Kropff MJ. Application of an ecophysiological model for irrigated rice (*Oryza sativa*) – *Echinochloa* competition. *Weed Science*. 1996; 44(1): 52-56. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0043174500093541>
- Little N, DiTommaso A, Westbrook AS, Ketterings QM, Mohler CL. Effects of fertility amendments on weed growth and weed-crop competition: A review. *Weed Science*. 2021; 69(2): 132-146, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.1>
- Mahajan G, Hickey L, Chauhan BS. Response of barley genotypes to weed interference. *Australia. Agronomy*. 2020; 10(1): 1-12. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10010099>
- Mittelman A, Montardoll DP, Cley CMC, Nunes DM, Buchweitz ED, Corrêa BO. Caracterização agrônômica de populações locais de azevém na Região Sul do Brasil. *Ciência Rural*. 2010; 40(12): 2527-2533, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000197>

Mushtaq W, Fauconnier ML, de Clerck C. Assessment of induced allelopathy in crop-weed co-culture with ryepigweed model. *Scientific Reports*. 2024; 14: 10446. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60663-w>

Nichelati FD, Bottega EL, Guerra N, Fioreze SL, Oliveira Neto AM, Oliveira ZB. Interferência de plantas daninhas na cultura da canola (*Brassica napus* L.). *Ciência Agrícola*. 2020; 18(1): 39-47, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.28998/rca.v18i1.7807>

Oliveira APT, Rosa PP, Chesini RC, Camacho JS, Nunes LP, Faria MR. et al. Características e utilização do azevém (*Lolium multiflorum* L.) na alimentação de ruminantes – revisão de literatura. *Revista Científica Rural*. 2019; 21(3): 347-365. Disponível em: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i3.2792>

Paula JM, Agostinetto D, Schaedler CE, Vargas L, Silva DRO. Competição de trigo com azevém em função de épocas de aplicação e doses de nitrogênio. *Planta Daninha*. 2011; 29(3): 557-563. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000300009>

Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world climate classification. *Hydrology and Earth System Science*. 2007; 11: 1633-1644. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Pies W, Werlang T, Luz ACP, Galon L, Tironi SP. Habilidade competitiva de cevada em convivência com densidades de azevém. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 2019; 14(2): 1-6. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5630>

Portes JC, Galon L, Franceschetti MB, Brunetto L, Toso JO, Soligo V, et al. Interference and economic damage level of turnips in rye. *Communications in Plant Sciences*. 2023; 13: 33-42. Disponível em: <https://doi.org/10.26814/cps2023005>

Reberg-Horton SC, Burton JD, Daneshmand DA, Ma G, Monks DW, Murphy JP, et al. Changes over time in the allelochemical content of ten cultivars of rye (*Secale cereale* L.). *Journal of Chemical Ecology*. 2005;31(1):179-193. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10886-005-0983-3>

Rebong D, Henriquez Inoa S, Moore VM, Reberg-Horton SC, Mirsky S, Murphy JP, Leon RG. Breeding allelopathy in cereal rye for weed suppression. *Weed Science*. 2024; 72: 30-40. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2023.64>

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11.ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

Singh M, Kukal MS, Irmak S, Hjala AJ. Water use characteristics of weeds: a global review, best practices, and future directions. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 12: 1-15. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.794090>

Smith AM, Burns EE. Impacts of drought intensity and weed competition on drought-tolerant corn performance. *Weed Science*. 2022; 70: 455-462. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.34>

Streck EV, Flores CA, Schneider P (Clbs). Solos do Rio Grande do Sul. 3 ed. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252 p.

Sun C, Ashworth MB, Flower K, Vila-Aiub MM, Rocha RL, Beckie HJ. The adaptive value of flowering time in wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Weed Science*. 2021; 69(2): 203-209. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.5>

Tavares LC, Lemes ES, Ruchel Q, Westendorff NR, Agostinetto D. Criteria for decision making and economic threshold level for wild radish in wheat crop. *Planta Daninha*. 2019; 37: e019178898. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100004>

Telles TS, Lourenço MAP, Oliveira JF, Costa GV, Barbosa GMC. Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2019; 91(3): e20180578. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180578>

Tironi SP, Galon L, Silva AF, Fialho CMT, Rocha PRR, Faria AT. et al. Época de emergência de azevém e nabo sobre a habilidade competitiva da cultura da cevada. *Ciência Rural*. 2014; 44(9): 1527-1533. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131633>

Velini ED, Osipe R, Gazziero DLP. (Eds). Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p

Volsi B, Higashi GE, Bordin I, Telles TS. Production and profitability of diversified agricultural systems. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2021; 93(2): 1-15. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191330>

Wang T, Jin H, Ksu BB, Jacquet J, Kumar S. Soil conservation practice adoption in the Northern Great Plains: Economic versus stewardship motivations. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 2019; 44(2): 404-421. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26797564>

Yang Y, Guo X, Liu G, Liu W, Xue J, Ming Bo. et al. Solar radiation effects on dry matter accumulations and transfer in maize. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.727134>