UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
***CAMPUS* CERRO LARGO**
CURSO DE AGRONOMIA

JULIANO LAUSER JAROSZEWSKI

EFEITO ALELOPÁTICO DO NABO FORRAGEIRO SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO E TRIGO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CERRO LARGO
2025

JULIANO LAUSER JAROSZEWSKI

EFEITO ALELOPÁTICO DO NABO FORRAGEIRO SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO E TRIGO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

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

Orientador: Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons

CERRO LARGO

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Jaroszewski, Juliano Lauser
EFEITO ALELOPÁTICO DO NABO FORRAGEIRO SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO E TRIGO / Juliano Lauser Jaroszewski. -- 2025.
54 f.:il.

Orientador: Doutor Sidinei Zwick Radons

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo,RS, 2025.

1. Alelopatia. 2. Nabo forrageiro. 3. Milho. 4. Trigo. I. Radons, Sidinei Zwick, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

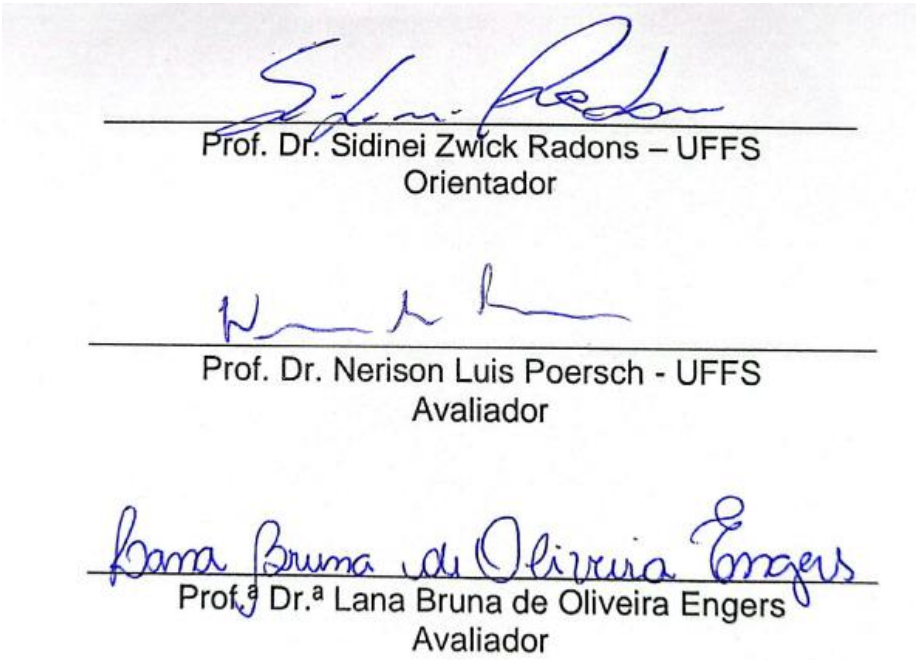
JULIANO LAUSER JAROSZEWSKI

EFEITO ALELOPÁTICO DO NABO FORRAGEIRO SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO E TRIGO

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

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 05 /12 /2025

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons – UFFS
Orientador

Prof. Dr. Nerison Luis Poersch - UFFS
Avaliador

Prof.ª Dr.ª Lana Bruna de Oliveira Engers
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos, que me apoiaram e incentivaram nesta caminhada.

RESUMO

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) é uma planta de cobertura amplamente utilizada no Sistema Plantio Direto (SPD) para manejo do "vazio outonal", mas seu conhecido potencial alelopático pode interferir em culturas sucessoras. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito alelopático de extratos aquosos de nabo forrageiro sobre a germinação e o crescimento inicial de milho (*Zea mays* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.). O experimento foi conduzido em laboratório, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), testando as concentrações de extrato aquoso (0 %, 1 %, 2,5 %, 5 %, 7,5 % e 10 %) sobre as duas culturas. Foram avaliados a percentagem de germinação (G %), o índice de velocidade de germinação (IVG), o comprimento da parte aérea (CPA) e o comprimento da radícula (CR). Os resultados indicaram que o milho foi altamente sensível, com o extrato reduzindo significativamente a G %, o IVG e o CPA, embora não tenha afetado o CR. Para o trigo, o extrato não alterou a G % final, mas inibiu severamente o IVG e o CR. Adicionalmente, foi observado um efeito hormético no CPA do trigo, com estímulo ao crescimento em baixas concentrações. Conclui-se que o milho é mais sensível aos aleloquímicos na fase de germinação, enquanto o trigo é mais vulnerável no desenvolvimento inicial da radícula, exigindo manejo criterioso do intervalo entre a dessecação do nabo e a semeadura da cultura sucessora.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; *Zea mays*; *Raphanus sativus*; Alelopatia; Germinação; Plantas de cobertura; Vazio outonal.

ABSTRACT

Oilseed radish (Raphanus sativus L.) is a cover crop widely used in No-Till Systems to manage the "autumn fallow" period; however, its known allelopathic potential may interfere with succession crops. This study aimed to evaluate the allelopathic effect of aqueous extracts of oilseed radish on the germination and initial growth of maize (Zea mays L.) and wheat (Triticum aestivum L.). The experiment was conducted in a laboratory using a Completely Randomized Design (CRD), testing aqueous extract concentrations (0%, 1%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10%) on both crops. Germination percentage (G%), Germination Speed Index (GSI), shoot length, and radicle length were evaluated. The results indicated that maize was highly sensitive, with the extract significantly reducing G%, GSI, and shoot length, although radicle length was not affected. For wheat, the extract did not alter the final G% but severely inhibited GSI and radicle length. Additionally, a hormetic effect was observed in wheat shoot length, with growth stimulation at low concentrations. It is concluded that maize is more sensitive to allelochemicals during the germination phase, whereas wheat is more vulnerable during initial radicle development, requiring careful management of the interval between radish desiccation and the sowing of the subsequent crop.

Keywords: *Triticum aestivum*; *Zea mays*; *Raphanus sativus*; Allelopathy; Germination; Cover crops; Autumn fallow.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Percentagem de germinação do milho em função de diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro 30
Figura 2 - Índice de velocidade de germinação de sementes de milho submetidas a diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro.....32
Figura 3 - Percentagem de germinação de sementes de milho submetidas em diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro.....33
Figura 4 - Comprimento da parte aérea de plântulas milho (mm) submetidas em diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro.....35
Figura 5 - Percentagem de germinação do trigo em função de diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro 38
Figura 6 - Índice de velocidade de germinação de sementes de trigo submetidas a diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro.....39
Figura 7 - Comprimento de radícula (mm) de plântulas de trigo submetidas a diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro.....42
Figura 8 - Comprimento de parte aérea (mm) de sementes de trigo submetidas a diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro.....44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área de grãos estimada em pousio no Rio Grande do Sul (2024) 17
Tabela 2 – Resultados da ANOVA para a influência de diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro sobre milho. 29
Tabela 3 - Resultados da ANOVA para a influência de diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro sobre trigo.....37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12
2.1 SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD) 12
2.2 PLANTAS DE COBERTURA E ROTAÇÃO DE CULTURAS 13
2.3 O DESAFIO DO VAZIO OUTONAL 16
2.4 ALELOPATIA 17
2.4.1 Alelopatia de Plantas de Cobertura: 19
2.4.2 O Nabo Forrageiro como agente alelopático 19
2.5 TRIGO 21
2.6 MILHO 23
3. MATERIAL E MÉTODOS 26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 29
4.1 MILHO 29
4.2 TRIGO 37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 47
REFERÊNCIAS 48

1. INTRODUÇÃO

A busca por sistemas de produção que conciliem alta produtividade com a conservação dos recursos naturais tem consolidado o Sistema Plantio Direto (SPD) como a base da agricultura moderna no Brasil. Este sistema fundamenta-se em premissas como o não revolvimento do solo, a rotação de culturas e, principalmente, a manutenção permanente de cobertura vegetal, seja ela viva ou morta (palhada). No entanto, a região Sul do Brasil enfrenta o desafio do "vazio outonal", período entre a colheita das culturas de verão e a semeadura das culturas de inverno, onde muitas áreas permanecem em pousio, sujeitas à erosão e à proliferação de plantas daninhas.

Para mitigar esses problemas, o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) destaca-se como uma das principais plantas de cobertura utilizadas. Pertencente à família *Brassicaceae*, essa espécie apresenta rápido crescimento inicial, alta produção de biomassa e um sistema radicular agressivo capaz de descompactar o solo e reciclar nutrientes, especialmente o nitrogênio, das camadas mais profundas. Apesar dos benefícios agronômicos, a inserção do nabo forrageiro nos sistemas de rotação exige atenção devido ao seu potencial alelopático.

A alelopatia é definida como qualquer efeito, direto ou indireto, prejudicial ou benéfico, que uma planta exerce sobre outra através da liberação de compostos químicos no ambiente (Rice, 1984). De acordo com Haramoto e Gallandt (2004), a decomposição dos resíduos do nabo forrageiro libera glucosinolatos. Segundo Pereira *et al*. (2011) e Bondesan *et al*. (2018), estes glucosinolatos ao serem hidrolisados, formam isotiocianatos. Estes compostos secundários possuem ação biocida e podem interferir fisiologicamente na germinação e no crescimento de outras espécies.

Essa interferência torna-se uma preocupação agronômica quando o nabo antecede culturas de importância econômica, como o milho (*Zea mays* L.) e o trigo (*Triticum aestivum* L.). O milho, cultivado tanto na safra de verão quanto na "safrinha", e o trigo, principal cereal de inverno, possuem a fase de germinação e estabelecimento da plântula como períodos críticos para a definição do potencial produtivo. A liberação de aleloquímicos pela palhada do nabo recém-manejado pode causar o efeito residual, resultando em falhas no estande de plantas, atraso no desenvolvimento inicial e comprometimento da produtividade.

Embora a alelopatia seja frequentemente explorada para o controle de plantas daninhas, é fundamental compreender como ela afeta as culturas comerciais

sucessoras, permitindo ajustes no manejo, como a definição do intervalo ideal entre a dessecação da cobertura e a semeadura da cultura seguinte.

Diante desse cenário, e partindo da hipótese de que compostos liberados pelo nabo forrageiro podem influenciar negativamente culturas sucessoras, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito alelopático de diferentes concentrações de extratos aquosos da parte aérea de nabo forrageiro sobre a germinação e o crescimento inicial de plântulas de milho e trigo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD)

A agricultura moderna tem buscado sistemas de produção que aliem alta produtividade à sustentabilidade ambiental. Nesse cenário, práticas conservacionistas que minimizam o impacto da atividade agrícola sobre o solo e os recursos naturais ganharam destaque (Altieri, 2012).

De acordo com Salton; Hernani e Fontes (1998), a técnica de semeadura direta constitui uma prática ancestral na agricultura; entretanto, o Sistema Plantio Direto (SPD) passou a ser desenvolvido ao longo da década de 1970, impulsionado pela introdução do ingrediente ativo Paraquat, que passou a substituir o revolvimento do solo como método de controle de plantas daninhas.

Segundo os mesmos autores, a expansão inicial mais expressiva do SPD no Brasil ocorreu nos municípios de Castro e Ponta Grossa, no estado do Paraná, favorecida pela adoção pioneira por parte dos agricultores locais. Tal iniciativa foi motivada pela acentuada degradação ambiental decorrente da erosão dos solos, a qual provocou o aumento dos custos de produção e comprometeu a sustentabilidade da atividade agropecuária (Salton; Hernani; Fontes,1998).

O SPD surgiu no Brasil como uma evolução do sistema convencional de semeadura direta, demandando um conjunto integrado de práticas conservacionistas. Fundamenta-se em três pilares principais: mobilização mínima do solo restrita à linha de semeadura, manutenção da cobertura do solo com palha e diversificação de culturas por meio da rotação, sucessão ou consorciação. A partir dos anos 2000, o SPD incorporou o conceito “colher-semear”, que visa reduzir o intervalo entre colheita e semeadura, assegurando a cobertura permanente do solo, promovendo a biodiversidade, aumentando o número de safras e favorecendo a melhoria da fertilidade e da qualidade do solo (Denardin *et al.*, 2012).

A manutenção da palhada na superfície é o pilar central do SPD, pois a palha forma uma cobertura protetora sobre o solo que atua como barreira ao impacto das precipitações e ao escoamento superficial, prevenindo a erosão que, além de arrastar partículas do solo, carrega para os corpos d'água fertilizantes, defensivos e demais produtos químicos, configurando-se como uma fonte de poluição e degradação dos recursos hídricos. Ela também protege o solo contra a radiação solar e a ação dos

ventos, reduzindo a evaporação e favorecendo a infiltração e armazenamento de água. Tais condições tornam-se mais propícias ao desenvolvimento das plantas e dos organismos edáficos. Ao decompor-se lentamente, a palha eleva os níveis de matéria orgânica, estimulando a atividade microbiana e a disponibilização de nutrientes, o que contribui para o aumento da produtividade. Ademais, sua presença auxilia no controle de plantas daninhas e é fundamental para garantir a cobertura contínua do solo, colaborando com a qualidade física, química e biológica do solo (Salton; Hernani; Fontes,1998).

O manejo do solo tem como finalidade assegurar que as plantas tenham acesso a ar, água e nutrientes em quantidade adequada. Contudo, ações como o preparo e a mobilização do solo comprometem sua estrutura, desagregando os constituintes e expondo compostos orgânicos à atuação da microbiota, o que acelera a decomposição e reduz os teores de carbono. A magnitude dessa perda varia de acordo com o clima, o tipo e a textura do solo, sua mineralogia, relevo e o tipo de manejo empregado, sendo mais acentuada em regiões tropicais e em solos de textura média ou arenosa (Sá *et al*., 2010).

Em razão das particularidades do clima tropical brasileiro, caracterizado por chuvas intensas e concentradas em determinados períodos do ano, grandes variações térmicas e elevadas temperaturas máximas, a agricultura tradicional, sobretudo após uma década de uso contínuo, tende a acelerar significativamente a degradação do solo, ainda que em áreas com declividades inferiores a 6 %. Esse cenário evidencia a urgente necessidade de adotar estratégias de manejo mais eficientes e conservacionistas, como o Sistema Plantio Direto (Salton; Hernani; Fontes,1998).

2.2 PLANTAS DE COBERTURA E ROTAÇÃO DE CULTURAS

A cobertura do solo com materiais sintéticos ou orgânicos, como palhas, ajuda a conservar a umidade e a temperatura do solo, reduz a evaporação, controla plantas daninhas e pode aumentar a produtividade das culturas (Cantero-Martinez; O'leary; Connor, 1995). De acordo com De Baets *et al*. (2011), as culturas de cobertura são utilizadas durante o pousio ou entre cultivos comerciais e desempenham um papel importante na conservação do solo. Elas contribuem para a regulação da hidrologia, aumentam a resistência do solo à erosão e ajudam a reduzir a lixiviação de

contaminantes, incluindo nutrientes potencialmente perdidos por escoamento superficial.

Nem sempre é viável utilizar apenas culturas com retorno financeiro direto nos sistemas agrícolas. Para garantir a produtividade e a sustentabilidade do solo, é necessário incluir espécies com funções técnicas específicas. A escolha dessas espécies deve considerar sua eficácia na melhoria do solo, produção de sementes, crescimento uniforme, acúmulo de fitomassa, reciclagem de nutrientes, recuperação da estrutura física e compatibilidade com outras culturas, além de baixo risco de se tornarem plantas invasoras (Denardin *et al*., 2012).

É essencial escolher espécies adaptadas às condições locais, com rápido estabelecimento e alta produção de fitomassa, pois isso favorece a proteção do solo, a supressão de plantas daninhas e a reciclagem de nutrientes. Cultivares de ciclo longo e maior densidade podem aumentar a produção de palha, que deve ser manejada adequadamente para evitar decomposição acelerada e garantir cobertura uniforme. Na seleção das espécies, devem-se considerar fatores como disponibilidade de sementes, adaptação ao solo, tolerância à seca, potencial comercial e risco de pragas e doenças. Além disso, a palha deve permitir um plantio subsequente eficiente, sem dificultar o uso de semeadoras (Alvarenga *et al*., 2001). Acrescenta-se que as plantas de cobertura devem apresentar facilidade de manejo e ausência de pragas ou doenças que prejudiquem culturas subsequentes (Soares; Silva, 2020).

De acordo com os resultados apresentados por Cantero-Martinez, O'leary e Connor (1995), sistemas que mantêm o resíduo vegetal na superfície tendem a conservar mais água do solo, especialmente em anos de baixa precipitação, o que resulta em melhores rendimentos. Segundo Almeida (2008), estas plantas de cobertura são essenciais na rotação de culturas, pois quebram ciclos de pragas e doenças, promovem a ciclagem de nutrientes – com destaque para espécies como as leguminosas (fixação de nitrogênio) e as brassicáceas (reciclagem de nutrientes de camadas profundas) – e auxiliam no manejo de plantas daninhas.

Conforme Salton, Hernani e Fontes (1998, p. 61), "Rotação consiste na alternância de espécies vegetais na mesma área e na mesma estação estival, observando-se um período mínimo sem o cultivo da mesma espécie". A extensa diversidade de espécies disponíveis para a prática de rotação de culturas no Brasil exige um planejamento adaptado às características regionais. A seleção e disposição dessas espécies, aliadas à integração com a pecuária, devem viabilizar o

escalonamento das épocas de plantio, colheita e uso, otimizando os ganhos técnicos e as oportunidades de comercialização (Denardin *et al*., 2012). A diversificação de culturas por meio da rotação constitui um pilar essencial para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Essa prática contribui significativamente para a redução da incidência de pragas, doenças e plantas daninhas, o que resulta na diminuição dos custos de produção e das perdas associadas ao monocultivo. Além disso, promove a fertilidade do solo e o equilíbrio de sua biota (Franchini et al., 2011).

Segundo Salton; Hernani e Fontes (1998), a alternância de espécies com distintos sistemas radiculares favorece a ciclagem de nutrientes e a manutenção da saúde do solo, beneficiando diretamente as culturas subsequentes. A rotação de culturas também potencializa o controle biológico natural e exerce um papel fundamental na eficiência do SPD. Apesar disso, os autores advertem que determinadas culturas podem causar efeitos alelopáticos temporários, comprometendo o desenvolvimento da cultura subsequente, como exemplificado no caso da soja cultivada após a canola. Ainda que tais efeitos desapareçam com o passar do tempo, recomenda-se respeitar um intervalo de aproximadamente 30 dias entre o manejo da cobertura vegetal e a realização do novo plantio, a fim de reduzi-los. Em regiões de clima frio, esses efeitos tendem a ser mais intensos e duradouros (Salton; Hernani; Fontes,1998).

Em regiões de temperaturas médias elevadas, onde a decomposição da matéria orgânica ocorre de forma mais rápida, recomenda-se o cultivo de gramíneas ou a combinação de gramíneas com leguminosas e outras famílias vegetais nos sistemas de rotação. Essa estratégia proporciona maior estabilidade à cobertura morta no Sistema Plantio Direto (SPD), prolongando seus efeitos benéficos sobre o solo (Lima filho *et al*., 2023).

Uma estratégia comum entre os produtores é o uso de mix de culturas, combinando espécies com diferentes funções, como leguminosas que fornecem nitrogênio e gramíneas que produzem alta quantidade de matéria seca. (Soares; Silva, 2020). A relação C/N varia conforme o tipo e a idade da planta. Gramíneas, com maior relação C/N, decompõem-se mais lentamente, formando cobertura mais duradoura. Já leguminosas, com menor C/N, decompõem-se rapidamente, liberando nutrientes mais cedo para a cultura seguinte. Dessa forma, a escolha de múltiplas espécies para cobertura do solo torna-se uma alternativa estratégica, ao combinar culturas com

diferentes relações C/N, otimizando o uso da palhada de forma eficiente e equilibrada. (Agostinetto *et al*., 2000).

O uso de mixes de plantas de cobertura é uma estratégia valiosa, pois permite combinar os atributos positivos de diferentes espécies, aproveitando suas sinergias e reduzindo as limitações que cada uma poderia apresentar se cultivada isoladamente (Cassol, 2019). A seleção da espécie ou do consórcio de plantas de cobertura (mix) deve ser feita levando em conta a cultura que será implantada em sucessão, visando maximizar a incorporação de nutrientes. Usando o exemplo do milho como cultura comercial sucessora, é fundamental selecionar coberturas capazes de acumular e liberar nitrogênio de forma gradual, favorecendo seu desenvolvimento ao longo do ciclo (Tomazoni, 2023).

2.3 O DESAFIO DO VAZIO OUTONAL

O "vazio outonal" refere-se ao período entre a colheita da cultura de verão (como a soja ou o milho "safra") e a implantação da cultura de inverno (como o trigo ou aveia) ou do milho safrinha. No Sul do Brasil, este período é crítico, período no qual o solo permanece sem cultivo. Durante essa fase, a ausência de cobertura vegetal compromete os processos da atividade biológica, a ciclagem de nutrientes e a incorporação de matéria orgânica. Ademais, a exposição direta do solo favorece tanto o surgimento de plantas daninhas quanto o aumento da erosão (Soares; Silva, 2020).

Nesse contexto, de acordo com os mesmos autores, a implantação de culturas vegetais com finalidade de cobertura configura-se como uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos negativos associados ao vazio outonal, uma vez que o cultivo de espécies específicas nesse intervalo proporciona diversos benefícios, tais como: descompactação do solo, controle de plantas indesejáveis, ciclagem de nutrientes, aumento da matéria orgânica, melhoria na infiltração e retenção de água, maior estabilidade dos agregados, quebra do ciclo de pragas e doenças, bem como a redução dos índices de evapotranspiração e de erosão.

A ausência de cobertura vegetal expõe o solo à erosão causada pelas chuvas de outono e permite a proliferação de plantas daninhas, que exaurem a reserva de água e nutrientes do solo e aumentam o banco de sementes, elevando o custo de manejo na cultura subsequente (Gazziero, 2015). O uso de plantas de cobertura de

ciclo curto e rápido estabelecimento, como o nabo forrageiro, é a principal estratégia agronômica para mitigar os problemas do vazio outonal (Bondesan *et al*., 2018).

A área estimada que permaneceu em pousio (sem cultura de renda ou cobertura registrada) durante o inverno de 2024 no Rio Grande do Sul foi de aproximadamente 6,65 milhões de hectares. Conforme indicado na tabela 1:

Tabela 1 – Área de grãos estimada em pousio no Rio Grande do Sul (2024)

Tipo de Área	Área (em mil Hectares)
Total da Safra de Verão 2023/2024 (Área Potencial)	8.533,0 ha
Semeada com Culturas de grãos no Inverno (2024)	1.881,0 ha
Estimada em Pousio (Inverno 2024)	6.652,0 ha

Fonte: CONAB (2024)

Esse dado foi calculado com base na área cultivada no verão, subtraindo a área cultivada no inverno (de acordo com dados da CONAB para safra de 23/24). O dado reforça que o princípio fundamental do Plantio Direto (PD) – a cobertura permanente do solo – não está sendo plenamente implementado em cerca de três quartos da área de grãos no estado durante a entressafra.

2.4 ALELOPATIA

O termo "alelopatia" foi cunhado pelo botânico austríaco Hans Molisch em 1937 (Molisch, 1937 apud Rice, 1984), derivado das palavras gregas *allelon* (mútuo) e *pathos* (prejuízo ou sofrimento). Contudo, a definição mais aceita e difundida na literatura científica é a de Rice (1984, p. 1), que define alelopatia como "qualquer efeito direto ou indireto, prejudicial ou benéfico, de uma planta (incluindo microrganismos) sobre outra, através da produção de compostos químicos liberados no ambiente". É crucial notar que a alelopatia não se refere à competição por recursos (água, luz, nutrientes), mas sim a uma interferência de natureza química (Ferreira; Áquila, 2000). Esses efeitos podem ser inibitórios (amensalismo) ou estimulatórios (protocooperação).

Os compostos químicos responsáveis pela alelopatia são chamados de aleloquímicos. São metabólitos secundários das plantas, ou seja, não estão diretamente envolvidos nos processos primários de crescimento e desenvolvimento

(fotossíntese, respiração), mas sim na defesa e interação da planta com o ambiente (Taiz *et al*., 2017).

Os aleloquímicos pertencem a diversas classes químicas, como compostos fenólicos, terpenóides, alcalóides e glucosinolatos. Eles podem ser liberados no ambiente por quatro vias principais: (i) volatilização (liberados pelas folhas); (ii) exsudação radicular (liberados pelas raízes vivas); (iii) lixiviação (lavados das partes aéreas pela chuva ou orvalho) e (iv) decomposição dos resíduos vegetais no solo (Innecco; De-Polli, 2002).

De acordo com Ferreira (2004. p. 254), os aleloquímicos podem ser liberados no ambiente de diferentes maneiras, seja “por meios aéreos (como os terpenos, que são voláteis), pelo lixiviado das plantas ou por restos destas, em resteva de culturas ou na serrapilheira que cobre o chão das matas, (no caso dos que são solúveis)”. Além disso, Rice (1984) ressalta que os aleloquímicos podem ser liberados ainda por meio da exsudação radicular e até pela emissão de vapores de compostos bioativos, como o alicinato do alho, reconhecido por sua ação antibacteriana.

A origem e a atividade desses aleloquímicos podem ser alteradas por transformações como oxidação e ação microbiana. Eles podem se originar de culturas anteriores, atuais, plantas daninhas ou microrganismos, e afetar diversos alvos no agroecossistema, como outros microrganismos e plantas que virem a ser cultivadas no local como cultura de interesse (Einhellig, 1996).

Substâncias alelopáticas liberadas por plantas podem prejudicar o crescimento, o desenvolvimento e até a germinação de sementes de outras espécies (Silva, 1978). Uma única substância pode afetar várias funções fisiológicas, assim como diferentes compostos podem alterar a mesma função (Malheiros; Peres, 2001).

Em muitos casos, os efeitos alelopáticos não se manifestam na taxa final de germinação, ou seja, no número total de sementes germinadas, mas influenciam significativamente a velocidade com que ocorre a germinação. Além disso, a germinação tende a ser menos sensível aos aleloquímicos do que o desenvolvimento das plântulas, que pode apresentar anomalias como necrose da radícula e desequilíbrio entre o crescimento da raiz e da parte aérea. Os efeitos alelopáticos podem ocorrer de forma direta, por meio da interferência no metabolismo celular, ou de maneira indireta, ao modificar as características do solo e a composição da microbiota associada (Ferreira; Aquila, 2000).

2.4.1 Alelopatia de Plantas de Cobertura:

No contexto do SPD, a principal forma de liberação de aleloquímicos ocorre pela decomposição da palhada (resíduos da planta de cobertura) sobre o solo (Almeida, 2008). A chuva que percola através dessa palhada pode lixiviar os compostos solúveis, que se infiltram no solo e atingem a zona de germinação das sementes.

Este efeito é altamente desejável para o manejo de plantas daninhas, configurando-se como um "herbicida natural". No entanto, essa mesma atividade alelopática pode, potencialmente, afetar de forma negativa a germinação e o desenvolvimento inicial da cultura comercial plantada em sucessão, gerando o que se conhece como efeito carryover (residual) alelopático (Santos *et al*., 2017).

Segundo Whittaker e Feeny (1971), os efeitos alelopáticos de uma planta são considerados válidos quando há evidências de que ela produz um inibidor químico ativo, presente no solo em concentrações potencialmente eficazes, e que a inibição observada não se deve à competição por luz, água, nutrientes ou à ação de animais.

Diversos estudos na literatura relatam exemplos de plantas com potencial alelopático sobre outras espécies. Um exemplo é o trabalho de Jessop e Stewart (1983), que investigaram os efeitos de resíduos de canola (*Brassica napus*), sorgo (*Sorghum bicolor*), ervilha (*Pisum sativum* L.) e trigo (*Triticum aestivum*) sobre a germinação e o desenvolvimento inicial do trigo. Os autores constataram que todos os resíduos provocaram redução na germinação, na altura das plantas e no comprimento das raízes, indicando ação alelopática dessas espécies sobre o trigo.

Esse estudo de Jessop e Stewart (1983) destaca a importância de compreender os efeitos alelopáticos de plantas de cobertura no contexto agrícola, especialmente em sistemas de rotação de culturas. No caso do trigo, uma cultura de grande relevância econômica, é fundamental investigar como os extratos dessas plantas de cobertura podem influenciar sua germinação e crescimento inicial. Tal compreensão pode contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

2.4.2 O Nabo Forrageiro como agente alelopático

O nabo forrageiro, pertencente à família *Brassicaceae*, é uma espécie anual de inverno, com raiz pivotante, ocasionalmente tuberosa, e altura que varia entre 1,0 e

1,80 metros (Oliveira, 2009). É uma cultura amplamente utilizada como planta de cobertura de outono-inverno no Brasil. Possui rápido crescimento inicial, alta produção de matéria seca e ciclo curto, mas sua baixa relação C/N (proporção entre a quantidade de carbono e de nitrogênio) resulta em decomposição acelerada dos resíduos. Além disso, se mal manejado, pode se tornar uma planta daninha nas culturas seguintes (Silva *et al*., 2007).

Agronomicamente, destaca-se pela sua rápida cobertura de solo, sistema radicular pivotante agressivo (capaz de descompactar camadas subsuperficiais) e alta capacidade de reciclar nutrientes, especialmente o nitrogênio (N), absorvendo-o de camadas profundas e disponibilizando-o na superfície após sua decomposição (Muzi *et al*., 2019). Devido a esse rápido crescimento inicial, pode cobrir até 70 % da área da superfície do solo em um período aproximado de 60 dias (Calegari, 1990), suprimindo a emergência de diversas espécies de plantas daninhas. Além disso, possui uma elevada capacidade de reciclagem de nutrientes podendo ter a capacidade de reciclar até 220 kg ha^{-1} de nitrogênio ao absorvê-lo de camadas profundas do solo (Heinzmann, 1985).

De acordo com Heinz *et al*. (2011), A palhada do nabo forrageiro apresenta alta taxa de liberação de nutrientes no início da decomposição, liberando cerca de 30 % do nitrogênio nos primeiros 15 dias após o corte da fitomassa, e alcançando até 60 % do total de nitrogênio liberado aos 30 dias após o manejo, característica que beneficia a cultura sucessora.

O potencial alelopático do nabo forrageiro, e das brassicáceas em geral, está associado à presença de metabólitos secundários chamados glucosinolatos (Haramoto; Gallandt, 2004). Esses compostos estão armazenados nos vacúolos das células vegetais. Quando o tecido da planta é rompido (seja por manejo, herbívoros ou decomposição), eles entram em contato com a enzima mirosinase, que estava armazenada em células separadas.

Essa reação de hidrólise libera uma gama de compostos voláteis, sendo os isotiocianatos (ITCs) os mais notáveis. Os ITCs são compostos altamente biocidas, conhecidos por sua capacidade de inibir a germinação de sementes e o crescimento radicular de diversas espécies, incluindo plantas daninhas e, potencialmente, culturas subsequentes (Pereira *et al*., 2011; Bondesan *et al*., 2018).

O trigo (*Triticum aestivum* L.) e o milho (*Zea mays* L.) são duas das principais culturas de grãos (cereais) do mundo e pilares do agronegócio brasileiro. Ambas são

gramíneas (família Poaceae) e, embora tenham exigências climáticas distintas, frequentemente se sucedem em sistemas de rotação que incluem plantas de cobertura, como o nabo forrageiro.

A fase de germinação e estabelecimento da plântula é o período mais crítico para a definição do potencial produtivo de ambas as culturas. Interferências negativas nesse estágio, como um efeito alelopático inibitório causado pelos resíduos do nabo forrageiro, podem resultar em falhas de stand (população de plantas) e atraso no desenvolvimento, com reflexos diretos na produtividade final (Lima *et al*., 2018).

2.5 TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma gramínea originária do Crescente Fértil, no sudoeste asiático, onde foi domesticado aproximadamente 10 mil anos atrás. Esse marco representa o início da agricultura e teve papel fundamental na transição das sociedades humanas do nomadismo para a formação dos primeiros assentamentos (Mori *et al*., 2016).

Trata-se de uma gramínea com sistema radicular fasciculado, colmo ereto e oco, folhas estreitas com lígula e aurículas, e inflorescência em forma de espiga. Suas flores são hermafroditas e majoritariamente autógamas. O fruto é uma cariopse (grão), importante na classificação dos cultivares. O ciclo de desenvolvimento da planta inclui fases como germinação, perfilhamento, espigamento e maturação (Scheeren; Castro; Caierão, 2015). O ciclo fenológico do trigo varia amplamente em função das características bioclimáticas e genéticas das cultivares. No Brasil, esse ciclo geralmente se estende de 100 a 160 dias, desde a semeadura até a maturação (Mori *et al*., 2016).

A introdução do trigo no Brasil ocorreu em 1534 por Martim Afonso de Souza, na região em que hoje se encontra o território do Estado de São Paulo. Espalhou-se em decorrência da expansão territorial promovida por colonizadores e missionários, mas encontrou condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento no sul do Brasil, com destaque para os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. (Silva *et al*., 1996).

De acordo com Mori *et al*. (2016), cultivares de trigo de primavera pertencentes à espécie *Triticum aestivum* L. (trigo comum) são cultivadas comercialmente no Brasil, caracterizadas por exigirem menor vernalização (necessidade fisiológica de

determinadas espécies vegetais passarem por frio para florescerem). Essa espécie hexaplóide apresenta grãos duros ou moles e é utilizada para a produção de forragem e grãos, sendo, portanto, de duplo propósito. Já a espécie *Triticum durum*, tetraploide e amplamente utilizada na Europa para a fabricação de massas, não é cultivada no país. Ambas as espécies se distinguem não apenas em sua constituição genética, mas também na textura dos grãos.

Segundo Borém e Scheeren (2015) o trigo é amplamente utilizado na alimentação humana, constituindo a base de pães, massas, bolos e biscoitos. Também possui uso na nutrição animal e em aplicações industriais. Sua produção é estratégica para a segurança alimentar do país, contribuindo para reduzir importações e fortalecer a economia nacional.

A safra do trigo pode ser comprometida por fatores climáticos (seca e calor excessivo), solos inadequados, pragas (como pulgões), doenças (como ferrugens e giberela), competição com ervas daninhas e falhas no manejo da colheita (Borém; Scheeren, 2015). Ainda assim, conforme Pires (2017, p. 1), "por mais que ocorram frustrações de safra, os benefícios diretos e indiretos do cultivo de trigo, ao longo dos anos, são maiores do que a alternativa de manter as áreas em pousio".

O autor ressalta que o trigo cultivado no inverno desempenha papel essencial na conservação do solo, principalmente por suprir a escassez de palhada deixada pelo monocultivo da soja, cuja decomposição é rápida. A prática do sistema de plantio direto exige a rotação de culturas, com a inclusão de espécies cujas raízes favoreçam a descompactação do solo e promovam uma cobertura vegetal mais duradoura. Culturas de inverno, tais como o trigo, contribuem de maneira significativa para aumentar e diversificar essa cobertura, ajudando a prevenir a erosão, a perda de nutrientes e o surgimento de plantas indesejáveis.

Com o intuito de enfrentar os desafios citados relacionados à safra, uma alternativa promissora é o melhoramento genético do trigo. Contudo, conforme Scheeren, Castro e Caierão (2015), cada ciclo de melhoramento requer entre quatro e oito anos para a obtenção de linhagens geneticamente uniformes. Além disso, são necessários no mínimo três anos de experimentação em testes comparativos com cultivares testemunhas já em uso. Consequentemente, o lançamento de um novo cultivar pode levar de dez a doze anos até ser disponibilizado para os produtores.

Em 2024, a produção mundial de trigo alcançou 796,85 milhões de toneladas (Mt), conforme dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

Entre os maiores produtores globais do ano, destacam-se a China, com 140 Mt; a União Europeia, com 121 Mt; a Índia, com 113,3 Mt; e a Rússia, com 81,6 Mt. O Brasil ocupa a 16ª posição do ranking, com produção de 7,89 Mt.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), essa produção brasileira foi obtida em área agrícola cultivada de 3,05 milhões de hectares. A Região Sul, composta pelos Estados do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e Paraná (PR), manteve-se como o principal polo tritícola do país, responsável por 6,77 Mt, o que reforça sua liderança nacional na produção do cereal.

O trigo é o principal cereal de clima temperado (cultura de inverno) cultivado no Brasil, sendo a base econômica de muitas propriedades rurais na Região Sul e em áreas de altitude do Sudeste e Centro-Oeste. É uma planta de metabolismo C3, adaptada a temperaturas mais amenas (EMBRAPA, 2022).

A semeadura do trigo ocorre no outono/inverno, exatamente na janela de sucessão mais comum após o manejo das plantas de cobertura de outono. O nabo forrageiro, semeado no "vazio outonal" (março/abril), é frequentemente dessecado (manejado) em maio/junho para a semeadura do trigo. Essa proximidade temporal entre a morte do nabo e a semeadura do trigo torna o cereal particularmente suscetível aos aleloquímicos (como os isotiocianatos) liberados durante a fase inicial de decomposição da palhada, que podem afetar a emergência e o vigor inicial das plântulas (Silva *et al*., 2019).

2.6 MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal da família Poaceae, classificado botanicamente como um grão do tipo cariopse. Sua importância transcende a agricultura, sendo um pilar histórico, social, econômico e energético para a civilização moderna (Fussell, 1992). Sendo uma planta de metabolismo C4, o milho possui alta eficiência fotossintética, especialmente em condições de elevada radiação solar e altas temperaturas, o que explica seu alto potencial produtivo em climas tropicais e subtropicais (Taiz *et al*., 2017).

O milho é uma das plantas mais notáveis da história da domesticação. Sua origem remonta ao México, em um processo que iniciou há aproximadamente 9.000 anos, a partir de um ancestral selvagem conhecido como teosinto (*Zea mays ssp. parviglumis*). Este processo de seleção artificial, conduzido por povos

mesoamericanos, transformou uma planta de grãos pequenos e duros na espiga robusta que conhecemos hoje (Matsuoka *et al*., 2002).

Para as civilizações pré-colombianas, como os Maias e Astecas, o milho era a base da subsistência e um elemento central de sua cosmologia e identidade. Após 1492, sua introdução no Velho Mundo provocou uma revolução agrícola. Devido à sua extraordinária plasticidade genética e adaptabilidade, o milho disseminou-se rapidamente por todos os continentes, consolidando-se como um dos alicerces da segurança alimentar global (Fussell, 1992).

Globalmente, o milho disputa com o trigo e o arroz a posição de cereal mais produzido no mundo (FAO, 2024). Sua relevância não está apenas no consumo humano direto, mas principalmente em seu papel como principal componente energético na formulação de rações para a produção de proteína animal (aves, suínos e bovinos).

No Brasil, a cultura assume um papel estratégico. O país figura entre os três maiores produtores mundiais. A produção nacional é marcada pela divisão em duas épocas de cultivo (CONAB, 2024): milho 1ª Safra (Safra de Verão): Semeado na primavera/verão e milho 2ª Safra ("Safrinha"): Semeado no fim do verão ou início do outono, majoritariamente em sucessão à colheita da soja. Este sistema de segunda safra, impulsionado pelo avanço tecnológico e pela adaptação de híbridos, hoje responde pela maior parte da produção nacional de milho.

O sucesso da lavoura de milho é definido, em grande parte, na semeadura. A obtenção de um stand (população) de plantas uniforme e vigoroso é fundamental para garantir o potencial produtivo. Falhas na germinação ou um desenvolvimento inicial lento e desuniforme resultam em perdas que não podem ser compensadas posteriormente (Schneider; Silva, 2018).

Neste ponto, a pesquisa se conecta diretamente com o Sistema Plantio Direto (SPD). Em sistemas de rotação que envolvem plantas de cobertura de outono-inverno, como o nabo forrageiro, visando a melhoria do solo (Almeida, 2008). A presença de resíduos vegetais, como a palhada do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), introduz uma variável química no ambiente de germinação.

A decomposição dessa palhada libera aleloquímicos (especialmente isotiocianatos) no solo (Pereira *et al*., 2011). Esses compostos podem exercer um efeito alelopático negativo sobre o milho. A literatura indica que a radícula é, geralmente, a estrutura mais sensível aos aleloquímicos (Lima *et al*., 2018). Uma

inibição do crescimento radicular nos estágios iniciais prejudica a absorção de água e nutrientes, atrasa o desenvolvimento da parte aérea e pode comprometer irreversivelmente o estabelecimento da cultura.

O milho é uma cultura tropical/subtropical, sendo uma das plantas mais eficientes na conversão de energia solar em biomassa devido ao seu metabolismo C4. É cultivado no Brasil em duas épocas principais: a "safra" (verão) e a "safrinha" (segunda safra), semeada no fim do verão ou início do outono, após a colheita da cultura de verão (EMBRAPA, 2021).

A interação do milho com o nabo forrageiro pode ocorrer em dois cenários principais: Sucessão ao Nabo de Outono/Inverno: O nabo forrageiro é cultivado no inverno e dessecado na primavera para a semeadura do milho "safra" (verão) e Sucessão ao Nabo de Outono (Ciclo Curto): O nabo é semeado no vazio outonal e dessecado precocemente para a implantação do milho "safrinha" em algumas regiões de inverno ameno.

Em ambos os cenários, existe o risco de interferência alelopática. Estudos como os de Lima *et al*. (2018) e Pereira *et al*. (2011) já indicaram que extratos aquosos de nabo forrageiro podem inibir significativamente a elongação radicular do milho, destacando a sensibilidade da cultura aos compostos liberados por essa brassicácea.

Portanto, avaliar o efeito alelopático do nabo forrageiro sobre a germinação e o crescimento inicial do milho não é apenas uma investigação ecofisiológica, mas uma demanda agronômica crucial para ajustar o manejo da rotação de culturas no SPD.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção do material com potencial alelopático, cultivou-se nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), cultivar IPR 116 na área experimental Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Cerro Largo, durante o ano de 2025. A coleta da parte aérea ocorreu durante o período de floração, restringindo-se a plantas sadias para assegurar a homogeneidade do material; foram descartadas folhas senescentes ou partes com danos visíveis por pragas e patógenos. O material coletado foi acondicionado em sacos de papel e seco em estufa de circulação forçada de ar a 50 °C, até atingir massa constante. Posteriormente, foi triturado em moinho de facas tipo Willey, e o pó fino resultante foi armazenado em recipiente hermético até o preparo dos extratos.

Para o preparo dos extratos, o material moído foi pesado em 100 gramas na balança de precisão e colocados em um liquidificador junto a 900 mL de água destilada. Após a trituração/homogeneização, a mistura foi filtrada com gaze para remoção dos resíduos sólidos.

Este procedimento resultou em um extrato bruto aquoso (EBA) com concentração de 10 %. A partir deste extrato, prepararam-se as demais concentrações (1 %; 2,5 %; 5 % e 7,5 %) por meio de diluição seriada em água destilada. O tratamento de 10 % consistiu no EBA puro, enquanto a testemunha (0 %) utilizou apenas água destilada. As proporções exatas de EBA e água destilada para cada tratamento estão detalhadas abaixo:

- Tratamento 1 %: 20 mL de EBA (10 %) + 180 mL de água destilada.
- Tratamento 2,5 %: 50 mL de EBA (10 %) + 150 mL de água destilada.
- Tratamento 5 %: 100 mL de EBA (10 %) + 100 mL de água destilada.
- Tratamento 7,5 %: 150 mL de EBA (10 %) + 50 mL de água destilada.

Os experimentos foram instalados no Laboratório de Análise de Sementes da UFFS, *Campus* Cerro Largo, no período de 24 de outubro até 07 de novembro de 2025.

As unidades experimentais (UEs) consistiram em caixas plásticas tipo gerbox (11 × 11 × 3,5 cm), previamente higienizadas com solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 1 %. Em cada UE, 25 sementes da respectiva cultura (trigo ORS Feroz ou milho AG 9021) foram dispostas sobre duas folhas de papel Germitest. Posteriormente, as sementes foram cobertas com uma terceira folha de papel. Sobre

esta, foram aplicados, com auxílio de pipeta, 8 mL da solução aquosa correspondente ao tratamento. Este volume equivale a aproximadamente 2,5 vezes a massa do papel seco, conforme preconizado pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009). Imediatamente após a aplicação, as caixas foram fechadas e alocadas em câmara de germinação tipo B.O.D., sob temperatura constante de 25 ºC e escuro contínuo (ausência de fotoperíodo).

As contagens das sementes germinadas foram realizadas diariamente, em intervalos aproximados de 24 horas. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram protrusão da raiz primária (radícula) com comprimento ≥ 2 mm (Brasil, 2009). O experimento foi encerrado quando o número de sementes germinadas permaneceu constante por três dias consecutivos, indicando a estabilização (Brasil, 2009). Após o encerramento do experimento foram realizadas as medições de comprimento de radícula e coleóptilo (parte aérea) do milho e do trigo.

Os experimentos foram conduzidos em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com quatro repetições. Os tratamentos, para cada espécie, foram compostos por 6 níveis de concentração do extrato aquoso de nabo forrageiro nas concentrações de 0 % (testemunha com água destilada), 1 %, 2,5 %, 5 %, 7,5 % e 10 %.

Cada unidade experimental (UE) foi composta por uma caixa plástica tipo gerbox (11 × 11 × 3,5 cm), na qual foram dispostas 25 sementes da espécie-alvo correspondente (trigo ou milho). Posteriormente, cada UE recebeu 8 mL da solução referente ao seu respectivo tratamento (extrato ou testemunha).

Os resultados de germinação foram expressos em percentagem de germinação (G %), calculada pela fórmula de Popinigis (1977):

$$G\ (\%) = \left(\frac{N}{A}\right) X\ 100$$

Onde N = número de sementes germinadas ao final do teste e A = número total de sementes na amostra.

O Índice de Velocidade de Germinação (IVG) será determinado simultaneamente ao teste de germinação, por meio da contagem diária das sementes germinadas, a fim de observar o tempo de germinação das sementes.

O IVG foi calculado utilizando a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \cdots + \frac{Gn}{Nn}$$

Onde G1,G2,Gn = número de sementes germinadas no primeiro, segundo e último dia de contagem, respectivamente (não acumulado) e N1,N2,Nn: número de dias da semeadura até a primeira, segunda e última contagem, respectivamente.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste de F a 5 % de probabilidade de erro, através do software SISVAR (Ferreira, 2011), onde foram obtidos os coeficientes de variação (CV %) e o p-valor. Além disso, foram feitas as análises de regressão pelo Microsoft Excel ®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MILHO

A determinação da significância estatística dos resultados é estabelecida pela comparação do p-valor com o nível de significância de 5 %. Nesse contexto, um p-valor igual ou inferior a 0,05 indica a rejeição da hipótese de nulidade, sugerindo que o efeito observado do extrato aquoso sobre a variável analisada é estatisticamente comprovado. Conforme evidenciado na Tabela 2, a Análise de Variância (ANOVA) revelou diferença significativa ($p < 0,05$) para as variáveis Índice de Velocidade de Germinação (IVG), Percentagem de Germinação (G %) e Comprimento da Parte Aérea (CPA). Dessa forma, o extrato aquoso de nabo forrageiro teve um efeito significativo sobre a germinação, vigor e o crescimento inicial das plântulas de milho. Em contraste, a variável comprimento da radícula (CR) não apresentou diferença estatística, visto que o efeito dos tratamentos não foi significativo ($p > 0,05$), com o valor médio permanecendo em 40,35 mm.

Tabela 2 – Resultados da ANOVA para a influência de diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro sobre milho.

Variável	p-valor	Coeficiente de Variação (%)
Índice de velocidade de germinação	< 0,001*	12,83
Germinação	0,024*	6,65
Comprimento da radícula	0,067	25,54
Comprimento da parte aérea	< 0,001*	35,95

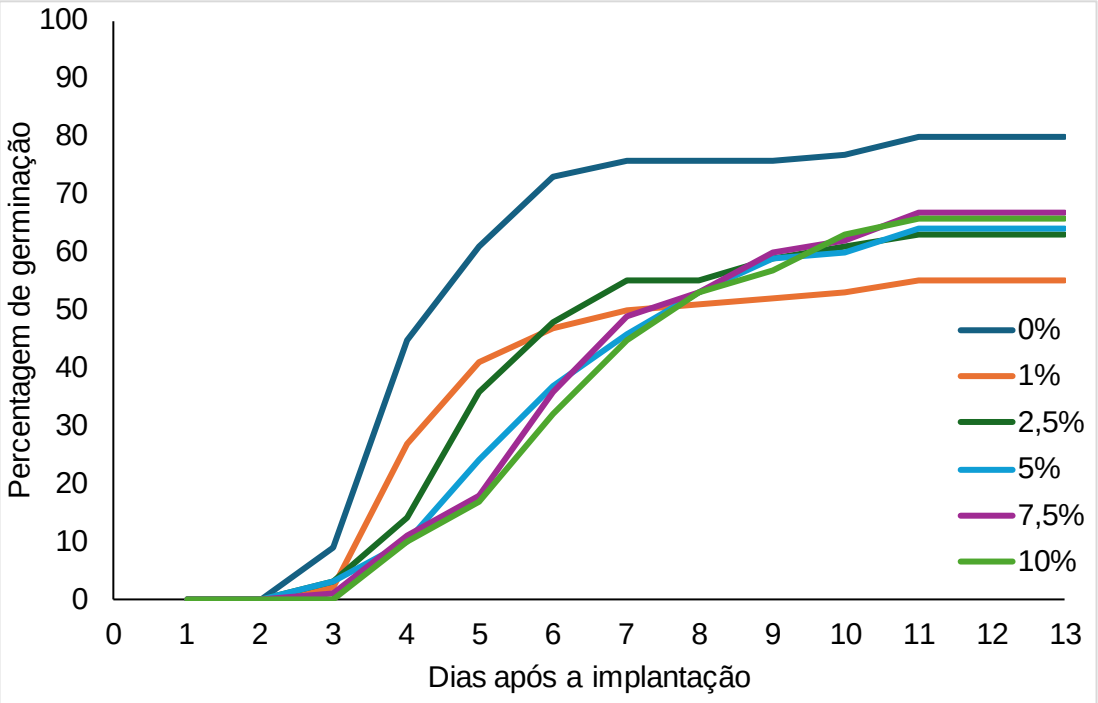
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).
* Significativo pela Anova em 5 % de probabilidade de erro.

Observa-se na Tabela 2 que os coeficientes de variação (CV%) para as variáveis de crescimento apresentaram valores elevados, sendo 25,54% para o comprimento da radícula e 35,95% para o comprimento da parte aérea. Segundo a classificação de Pimentel-Gomes (2009), valores acima de 30% são considerados muito altos. No entanto, é fundamental destacar que a precisão experimental e a correta condução do ensaio são atestadas pelo baixo coeficiente de variação obtido para a variável percentagem de germinação (6,65%). Este baixo valor comprova que houve homogeneidade na aplicação dos tratamentos e controle das condições

ambientais. Portanto, a amplitude observada nas variáveis de comprimento é justificável em bioensaios laboratoriais devido à somatória de fatores genéticos e fisiológicos, onde o estresse químico exacerba a desuniformidade natural entre as plântulas e o estiolamento induzido pela ausência de luz gera variações morfológicas acentuadas (Marcos-Filho, 2015; Taiz *et al*., 2017).

A Figura 1 demonstra que todos os tratamentos com o extrato aquoso resultaram em uma percentagem final de germinação estatisticamente inferior a testemunha. Além da redução da viabilidade final, o extrato impôs um atraso considerável no tempo de início e na velocidade de germinação. Enquanto a testemunha atingiu a marca de 75 % da sua germinação máxima já no 7º dia de avaliação, a maioria dos tratamentos com extrato levou um período mais estendido, alcançando sua percentagem máxima somente entre o 9º e o 10º dia. Este alongamento do tempo de germinação indica que os aleloquímicos atuaram diretamente na energia e no vigor das sementes, dificultando a mobilização de reservas e o rompimento da dormência.

Figura 1 - Percentagem de germinação do milho em função de diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Estes resultados confirmaram a presença de substâncias com potencial alelopático. Observou-se um impacto negativo e significativo em todas as

concentrações testadas, afetando de forma concomitante a percentagem final de germinação (viabilidade) e a velocidade/vigor inicial do processo. Esta constatação é um forte indicativo de que os compostos secundários liberados pelo nabo forrageiro, como glucosinolatos e seus produtos de hidrólise (isotiocianatos), agem como inibidores fisiológicos, em consonância com estudos prévios sobre a alelopatia de *Brassicaceae* (Pereira et al., 2011; Bondesan et al., 2018).

Em condições de campo, este atraso é crítico, pois uma germinação mais lenta resulta em plântulas menos vigorosas e mais suscetíveis a estresses bióticos e abióticos, comprometendo o estabelecimento inicial da cultura.

A concentração de 1 % apresentou um comportamento caracteristicamente bifásico, evidenciando duas etapas distintas ao longo do processo. Inicialmente, ela apresentou a segunda melhor velocidade de germinação até o 5º dia, superando os demais tratamentos (exceto testemunha). No entanto, após este período, a velocidade de germinação caiu drasticamente, culminando na menor percentagem final de germinação (55 %). Isso pode sugerir que as concentrações mais elevadas atinjam um limite de efeito (saturação) ou, hipoteticamente, que contenham um segundo componente capaz de atenuar parcialmente a inibição predominante. É possível que o extrato na concentração de 1 % contenha um conjunto de compostos que, inicialmente, não são os mais inibitórios da emergência, mas que, ao longo do tempo, acumulam efeitos tóxicos tardios, afetando irreversivelmente a viabilidade celular.

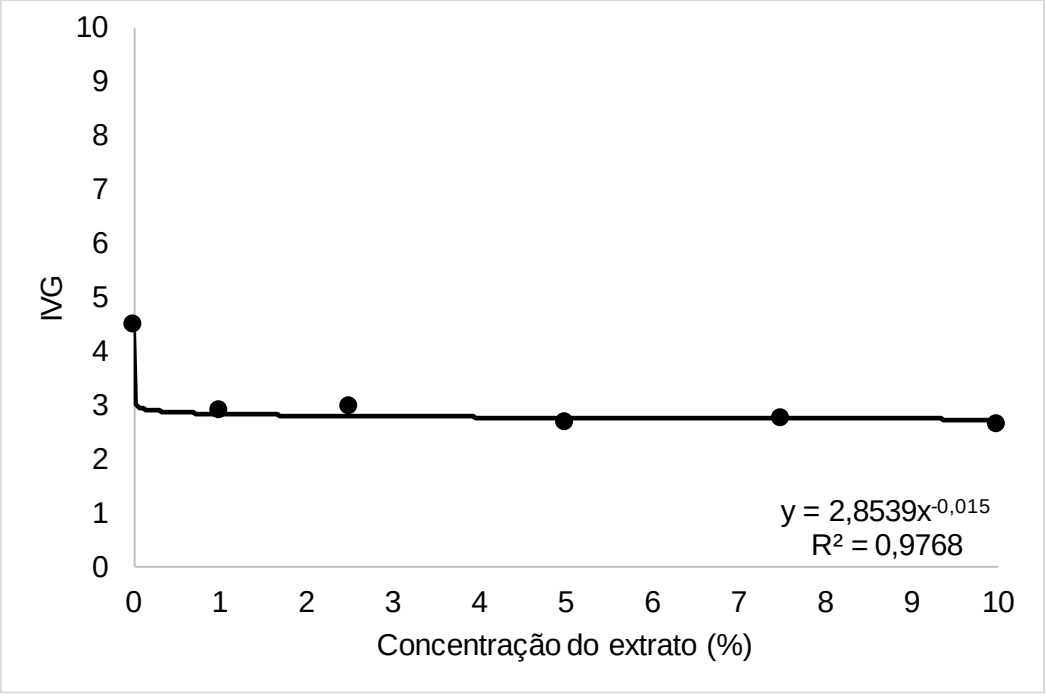
A concentração de 10 % apresentou o início mais lento da germinação, juntamente com a curva de germinação de menor inclinação inicial (compartilhada com 7,5 %). Estes resultados indicam o maior efeito inibitório sobre o vigor das sementes. A alta concentração de aleloquímicos satura os sítios de ação enzimática e pode provocar toxicidade aguda, impedindo o metabolismo necessário para o início da emergência.

O Índice de Velocidade de Germinação (IVG) do milho foi significativamente influenciado pelas concentrações do extrato aquoso de nabo forrageiro. A análise de regressão demonstrou um ajuste a um modelo potência ($y = 2{,}8539x^{-0{,}015}$), com um alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0{,}9768$), indicando que o modelo é confiável na descrição do efeito do extrato na velocidade de germinação.

O padrão de resposta demonstra um efeito inibitório significativo do extrato, caracterizado por uma queda abrupta do IVG na transição da ausência do extrato (0 %) para a menor concentração testada (1 %), como pode ser observado na Figura 2.

O valor máximo de IVG (aproximadamente 5,0) em 0 % cai para cerca de 2,9 em 1 % de concentração. Essa queda sugere uma alta sensibilidade do processo de germinação aos compostos alelopáticos presentes no extrato, indicando que mesmo baixas dosagens já são suficientes para desencadear um efeito biológico máximo ou próximo do máximo. Contudo, a elevação da concentração do extrato na faixa de 1 % a 10 % demonstrou uma estabilidade, pois, embora a redução da velocidade fosse mantida, não houve um incremento significativo no grau de inibição. Esse padrão de resposta indica fortemente um efeito de saturação do mecanismo de inibição. É plausível que, a partir de 1 %, os sítios de ação biológica dos compostos inibitórios no sistema de germinação já estejam predominantemente ocupados, limitando o impacto adicional de uma maior dosagem.

Figura 2 - Índice de velocidade de germinação de sementes de milho submetidas a diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro



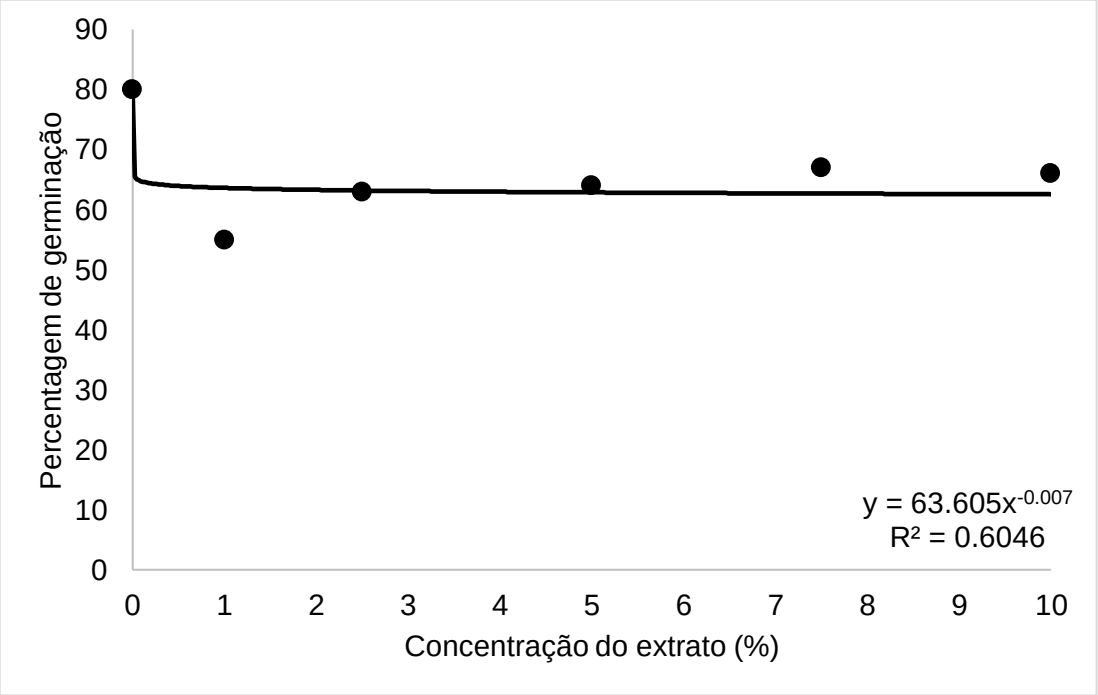
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Estes resultados ressaltam a necessidade de uma investigação mais aprofundada do mecanismo de ação em baixas concentrações (faixa de 0 % a 1 %). Dado que a concentração de 1 % atingiu a estabilidade do efeito, indicando a saturação do processo. Há uma necessidade clara de realizar estudos em concentrações menores que 1 % para analisar os efeitos.

Os resultados obtidos demonstram que o extrato aquoso do nabo forrageiro exerceu influência negativa, manifestada pela redução do Índice de Velocidade de Germinação (IVG). Este comportamento assemelha-se ao observado por Spiassi *et al*. (2011), que constataram um decréscimo na velocidade germinativa do milho sob a influência da palhada dessa brássica.

A percentagem de germinação do milho foi significativamente influenciada pelas concentrações do extrato aquoso de Nabo Forrageiro (Figura 3). A análise de regressão demonstrou um ajuste a um modelo potência ($y=63{,}605x^{-0{,}007}$), com um médio coeficiente de determinação (R^2 =0,678), é notavelmente quase horizontal após a concentração inicial de 1 %.

Figura 3 - Percentagem de germinação de sementes de milho submetidas em diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O expoente de -0.007 (próximo de zero) indica que a percentagem de germinação é muito pouco afetada pelo aumento da concentração do extrato após o primeiro ponto. A linha de tendência representa uma resposta quase constante.

O Coeficiente de Determinação (R^2 = 0.678) indica que aproximadamente 67.8 % da variabilidade na percentagem de germinação é explicada pela concentração do extrato de acordo com este modelo. Embora razoável, a variação (dispersão dos

pontos) sugere que outros fatores não controlados no experimento são responsáveis por essa variabilidade, o que reforça a complexidade dessas interações bioquímicas.

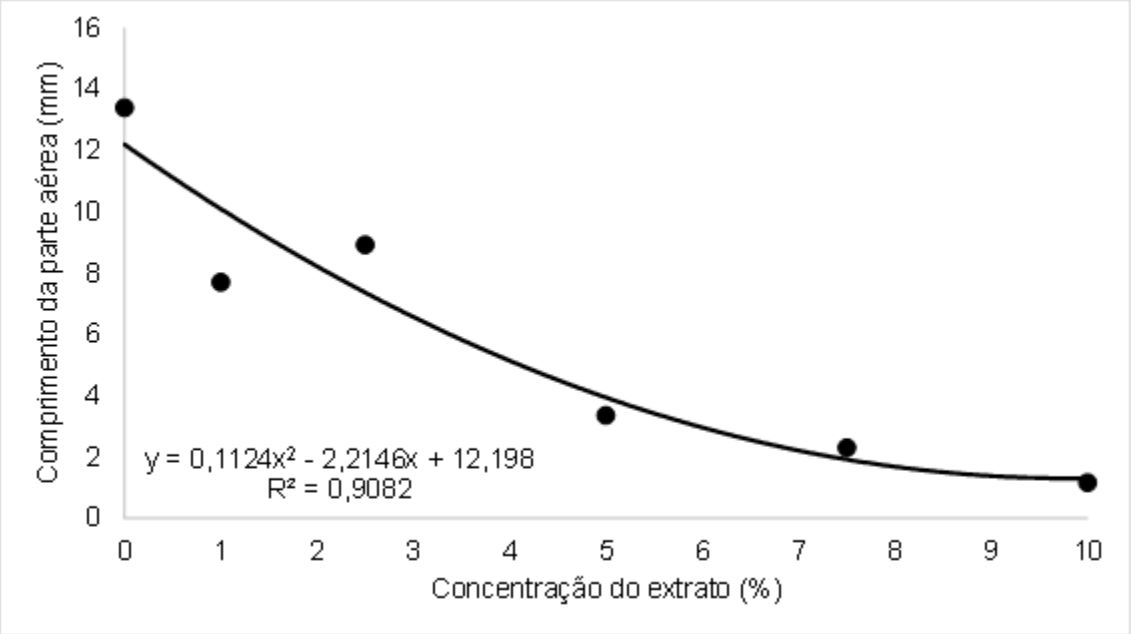
A Figura 3 demonstra que todos os tratamentos com o extrato aquoso resultaram em uma percentagem final de germinação estatisticamente inferior a testemunha (que atingiu 80 %). Os resultados variaram entre 55 % e 67 % nos tratamentos, evidenciando uma redução da viabilidade das sementes sob estresse alelopático.

A aplicação de 1 % de extrato aquoso resultou em uma redução imediata e significativa da germinação, que caiu para aproximadamente 55%. Enquanto que para as concentrações superiores (2,5 %, 5 %, 7,5 % e 10 %), a percentagem de germinação se estabilizou, variando entre 63 % e 67 %. Não foi observada uma inibição progressivamente maior em função do aumento da concentração.

Os resultados da figura 1, 2 e 3 mostram que a redução significativa na germinação e na velocidade de emergência do milho observada neste trabalho corrobora os dados obtidos recentemente por Lima e Lajús (2021), que, ao avaliarem o potencial alelopático do extrato da parte aérea de *Raphanus sativus*, constataram que concentrações a partir de 25 % já exerciam efeito inibitório severo sobre a cultura. Esse padrão de inibição também foi verificado por Redin e Seidel (2025), os quais classificaram o nabo forrageiro, ao lado do azevém, como uma das coberturas com maior potencial para reduzir a germinação e o acúmulo de massa seca inicial de plântulas de milho. A concordância destes resultados reforça a hipótese de que a liberação rápida de isotiocianatos pela hidrólise dos tecidos do nabo interfere nos processos metabólicos de retomada do crescimento do embrião de milho, exigindo um intervalo de segurança entre o manejo da cobertura e a semeadura (Corrêa *et al*., 2020). Diferentemente do esperado em estudos clássicos de alelopatia, onde a radícula costuma ser o órgão mais sensível, nesta cultura o Comprimento da Radícula (CR) não sofreu alteração estatística significativa nas concentrações testadas ($p > 0,05$).

O comportamento do crescimento da parte aérea, ajustado às diferentes concentrações do extrato, é demonstrado na Figura 4, evidenciando a sensibilidade da cultura ao potencial alelopático.

Figura 4 - Comprimento da parte aérea de plântulas milho (mm) submetidas em diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O potencial alelopático de *R. sativus* sobre o desenvolvimento inicial da parte aérea de plântulas de milho (*Zea mays* L.) foi comprovado pelo estudo, demonstrado pela regressão polinomial de segunda ordem ($y = 0,1124x^2 - 2,2146x + 12,198$) ajustada aos dados de comprimento de parte aérea (Figura 4). Tokura e Nóbrega (2006), analisaram o efeito alelopático do extrato aquoso de nabo forrageiro sobre plântulas de milho e também encontraram efeitos sobre o comprimento da parte aérea. A forte correlação negativa entre as variáveis, indicada pelo alto coeficiente de determinação (R2 = 0,9082), sugere que a concentração do extrato aquoso é um fator limitante primário para o crescimento da parte aérea do milho sob as condições de teste.

A aplicação do extrato de nabo forrageiro resultou em uma redução progressiva e significativa do comprimento da parte aérea à medida que as concentrações aumentaram. Comparado à testemunha (0 % de extrato), que apresentou o maior comprimento médio (13,39 mm), a concentração de 10 % levou a uma inibição drástica, limitando o crescimento a apenas 1,15 mm. Esta redução no crescimento é uma evidência do efeito fitotóxico dos compostos alelopáticos, como os glicosinolatos e seus produtos de hidrólise (isotiocianatos) conhecidos por estarem presentes na

família *Brassicaceae*, que podem interferir em processos fisiológicos e metabólicos vitais das plântulas de milho (Neves, 2005; Petersen *et al*., 2001).

A adequação do modelo polinomial de segunda ordem ($y = 0{,}1124x^2 - 2{,}2146x + 12{,}198$) sugere que a resposta do milho à fitotoxidez não é estritamente linear, mas sim curvilínea. A concavidade positiva do modelo, dentro da faixa de concentração experimental, reflete um forte impacto inibitório desde as concentrações mais baixas, sendo este efeito cumulativo com o aumento da dose. Os resultados obtidos estão em consonância com estudos prévios que também verificaram o potencial alelopático de extratos de nabo forrageiro e outras brassicáceas no crescimento inicial de diversas culturas, incluindo o milho, o que reforça a necessidade de considerar este efeito em sistemas de sucessão e rotação de culturas onde o nabo forrageiro é utilizado como planta de cobertura.

Os resultados obtidos neste estudo indicaram que o extrato aquoso da parte aérea de *R. sativus* promoveu interferência negativa sobre o potencial fisiológico das sementes de milho, reduzindo o Índice de Velocidade de Germinação (IVG), a Porcentagem de Germinação (G %) e o Comprimento da Parte Aérea (CPA).

Resultados semelhantes foram reportados por Tokura e Nóbrega (2006), que avaliaram o potencial alelopático de diversas culturas de cobertura e constataram que extratos aquosos de nabo forrageiro afetam significativamente o desenvolvimento inicial do milho. Segundo os autores, os aleloquímicos presentes no tecido vegetal atuam inibindo o alongamento celular, o que explica a redução observada no comprimento da parte aérea das plântulas submetidas às maiores concentrações do extrato.

A inibição do crescimento da parte aérea em resposta ao aumento da concentração do extrato alinha-se às observações de Cruz *et al*. (2020), que relatam a sensibilidade do tecido jovem do milho a compostos fenólicos e aleloquímicos lixiviados. O efeito prejudicial na parte aérea, muitas vezes, é uma consequência secundária da lesão no sistema radicular ou da desordem metabólica induzida na semente, que limita a translocação de reservas para o alongamento do coleóptilo. Estudos indicam que, sob estresse alelopático intenso, a planta desvia energia do crescimento para mecanismos de defesa e manutenção celular, resultando em plântulas de menor porte e vigor reduzido (Lima; Lajús, 2021).

4.2 TRIGO

Conforme evidenciado na Tabela 3, a Análise de Variância (ANOVA) revelou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para as variáveis Índice de Velocidade de Germinação (IVG), Comprimento da Radícula (CR) e Comprimento da Parte Aérea (CPA). Este resultado indica que a aplicação das diferentes concentrações do extrato de nabo forrageiro exerceu um efeito alelopático evidente e significativo sobre o vigor e o desenvolvimento inicial dessas plântulas de trigo, não afetando significativamente a variável germinação do trigo, que teve uma média de 91,7 %.

Tabela 3 - Resultados da ANOVA para a influência de diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro sobre trigo.

Variável	p-valor	Coeficiente de variação (%)
Índice de velocidade de germinação	< 0,001*	6,87
Germinação	0,716	2,52
Comprimento da radícula	< 0,001*	19,21
Comprimento da parte aérea	< 0,001*	34,20

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).
* Significativo pela Anova em 5 % de probabilidade de erro.

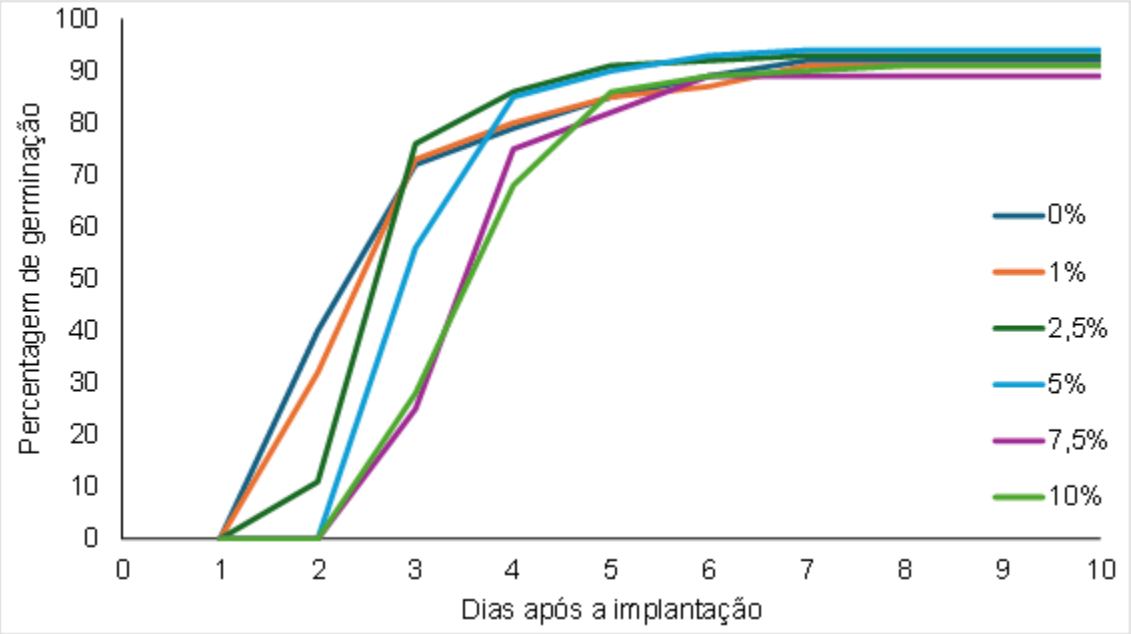
Para a cultura do trigo (Tabela 3), notou-se um comportamento distinto entre as variáveis: o comprimento da radícula apresentou um CV médio (19,21%), enquanto o comprimento da parte aérea atingiu um valor considerado muito alto (34,20%), conforme Pimentel-Gomes (2009). Contudo, a qualidade na execução do experimento é evidenciada pelo coeficiente de variação extremamente reduzido para a variável germinação (2,52%). Esse índice demonstra que a variação elevada nos dados biométricos não decorre de erro experimental, mas sim da resposta biológica da cultura. Essa discrepância na parte aérea é atribuída à plasticidade de crescimento do coleóptilo sob condições de escuro (estiolamento) e ao efeito hormético observado, que gerou extremos de comprimento (estímulo versus inibição) dentro do ensaio, ampliando a variância residual (Taiz *et al*., 2017).

Os resultados obtidos pela Figura 5, demonstram que o extrato aquoso de *R. sativus*, especialmente em concentrações iguais ou superiores a 5 %, causa um atraso na velocidade de germinação das sementes de trigo, indicando um efeito inibitório sobre o processo. A análise da cinética de germinação demonstrou uma clara dependência dose-resposta em relação à concentração do agente testado. As

condições de testemunha (0 %) e baixa concentração (1 %) definiram o padrão de germinação ideal, caracterizado pela máxima velocidade inicial, com o pico de aumento entre o Dia 2 e o Dia 3, resultando em taxas superiores a 70 % já no Dia 3.

Em contraste, as concentrações mais altas (5 %, 7,5 % e 10 %) impuseram um atraso temporal significativo, evidenciando inibição. Este efeito retardador é compatível com o mecanismo de ação dos isotiocianatos, que podem interferir em processos vitais, como a respiração, a síntese de proteínas e a permeabilidade da membrana celular (Almeida, 1988; Souza; Souza; Pasqual, 1999).

Figura 5 - Percentagem de germinação do trigo em função de diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

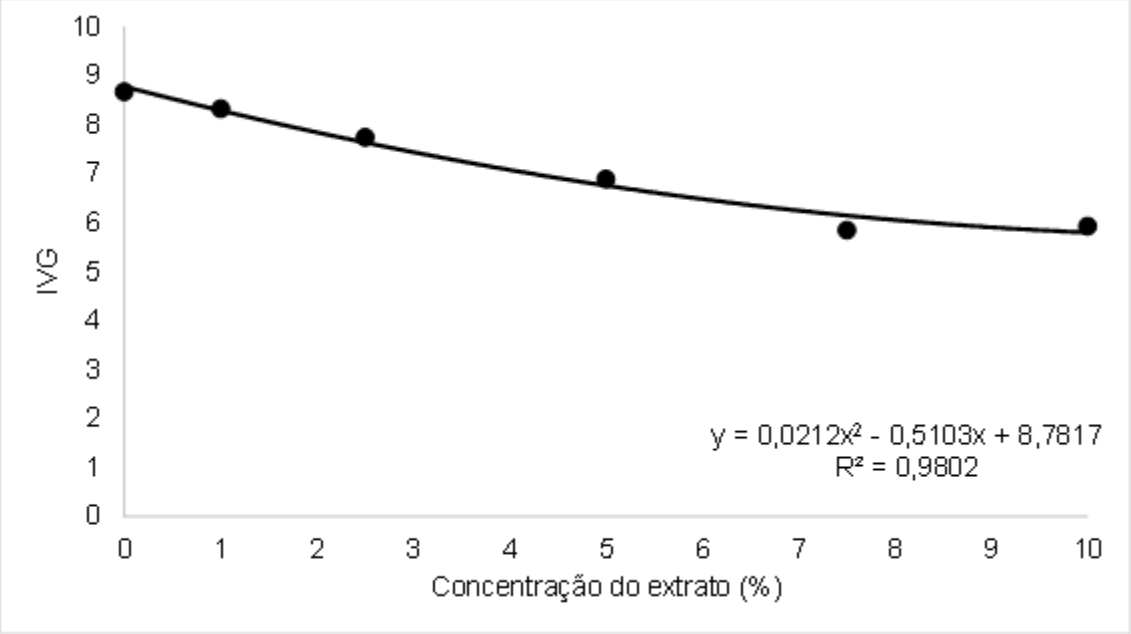
A concentração de 5 % teve um início no Dia 2, mas com velocidade notavelmente reduzida, enquanto 7,5 % e 10 % sofreram uma inibição inicial mais severa, com o aumento significativo da germinação ocorrendo somente após o Dia 3, gerando uma curva de crescimento defasada.

Por fim, a Concentração Intermediária de 2,5 % exibiu um comportamento de transição, sendo apenas marginalmente mais lenta que o padrão ideal, mas consideravelmente mais rápida que os tratamentos de maior concentração nos estágios iniciais do processo.

A germinação final não se diferenciou estatisticamente, entretanto, o índice de velocidade de germinação apresentou diferença significativa, conforme indica a Figura

6. A variação do IVG em função das diferentes concentrações foi adequadamente modelada por uma regressão polinomial de segunda ordem, conforme apresentado na Figura 6. A equação ajustada, $y = 0,0212x^2 - 0,5103x + 8,7817$, demonstrou um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9802$), indicando que o modelo explica aproximadamente 98 % da variabilidade observada no IVG. Este ajuste não linear é crucial, pois evidencia que o efeito inibitório não se comporta de forma estritamente proporcional em toda a faixa de concentração. O padrão observado (redução do IVG até 7,5 %, com ligeiro aumento ou estabilização em 10 %) sugere que, em concentrações muito elevadas, pode haver uma menor disponibilidade dos aleloquímicos em solução (devido a saturação ou interações moleculares) ou a ativação de mecanismos de tolerância na semente de trigo, embora a inibição permaneça acentuada.

Figura 6 - Índice de velocidade de germinação de sementes de trigo submetidas a diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados obtidos para o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) das sementes de trigo, em função das diferentes concentrações do extrato aquoso de nabo forrageiro, indicaram uma relação de inibição dose-dependente (Figura 6). A testemunha (0 %) apresentou o maior IVG (8,78), o que é esperado para sementes germinadas em condições ideais, na ausência de substâncias com potencial alelopático. Contudo, o aumento da concentração do extrato demonstrou um efeito

fitotóxico progressivo, resultando na redução da velocidade de germinação das sementes de trigo. A concentração de 7,5 % foi responsável pelo menor IVG (5,85), refletindo uma redução significativa na rapidez com que as sementes iniciaram e completaram o processo germinativo, quando comparado a testemunha. A queda no IVG sugere que os aleloquímicos presentes no extrato aquoso de *R. sativus* atuaram inibindo processos metabólicos ou enzimáticos essenciais para o vigor das sementes Ferreira e Áquila (2000).

A inibição observada no IVG é um forte indicativo do potencial alelopático negativo do nabo forrageiro sobre a cultura do trigo. O nabo forrageiro pertence à família *Brassicaceae*, conhecida pela produção de glucosinolatos, que, após hidrólise, liberam substâncias altamente ativas como os isotiocianatos. Tais compostos são amplamente reconhecidos na literatura por seu efeito fitotóxico sobre a germinação e o crescimento inicial de outras espécies (Neves, 2005).

As concentrações mais baixas e médias do extrato (0 % - testemunha, 1 %, 2,5 % e 5 %) apresentaram um potencial máximo de germinação substancialmente elevado, atingindo valores entre 90 % e 95 %. Este patamar foi alcançado a partir do sexto ao sétimo dia de avaliação. O desempenho nessas concentrações sugere que as substâncias alelopáticas presentes não possuem efeito letal sobre a maioria das sementes de trigo. Observou-se apenas um leve atraso no tempo de germinação para a concentração de 5% em comparação a testemunha, sem impactar o percentual final.

As concentrações mais elevadas (7,5 % e 10 %) também alcançaram um potencial máximo de germinação considerado muito alto, aproximando-se de 90 %. A curva de germinação para a concentração de 7,5 % demonstrou uma estabilização marginalmente inferior às demais, situando-se em torno de 89 %.

Dessa forma, o extrato aquoso de nabo forrageiro, mesmo na concentração mais alta testada (10 %), não resultou em uma redução significativa do potencial máximo de germinação das sementes de trigo, o qual se manteve próximo ao desempenho da testemunha (0 %). O principal efeito negativo detectado está relacionado ao atraso (demora) no tempo necessário para que as sementes atinjam o seu potencial máximo de germinação.

Do ponto de vista prático, os resultados obtidos sugerem que a utilização de nabo forrageiro como cultura de cobertura ou adubo verde, em sistemas de produção que antecedem o trigo, demanda manejo criterioso. A alta concentração de resíduos recém-incorporados, ou a semeadura imediata do trigo após o manejo da biomassa,

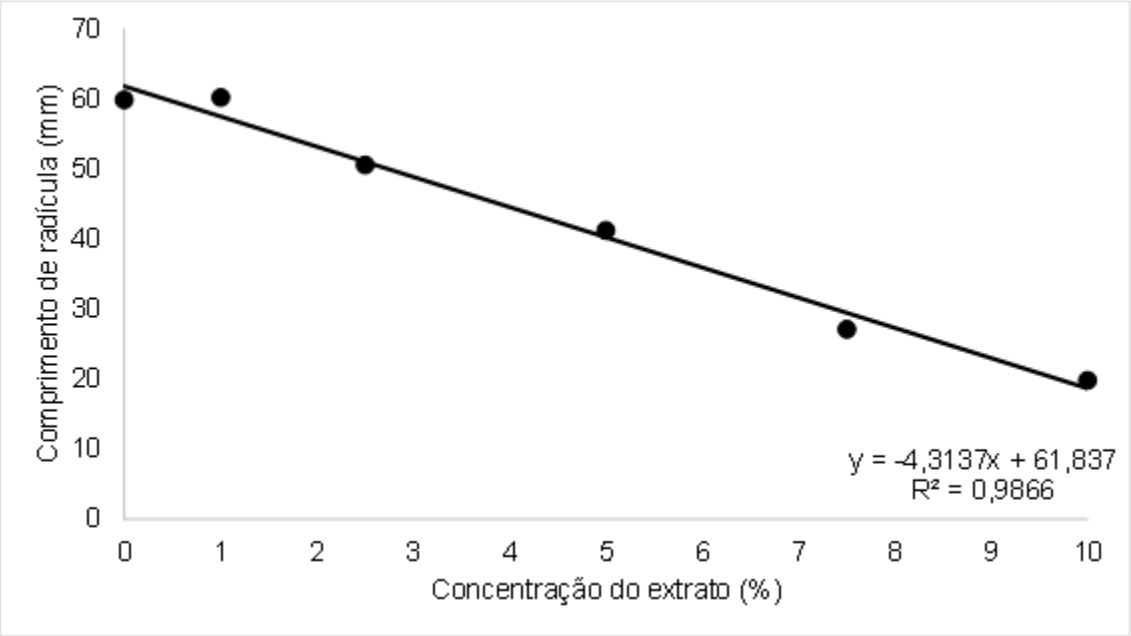
pode liberar quantidades significativas de aleloquímicos no solo, comprometendo a uniformidade e o estabelecimento inicial da cultura subsequente. É fundamental considerar o tempo de decomposição da biomassa e a diluição dos compostos no solo para mitigar o impacto negativo na germinação do trigo.

Os resultados mostrados pela figura 5 e 6, indicam que o fato de a percentagem final de germinação (G%) não ter sido estatisticamente afetada, enquanto o IVG sofreu redução significativa, demonstra que o efeito alelopático do nabo sobre o trigo é, primariamente, um efeito de atraso metabólico e não de letalidade imediata. Este comportamento é descrito na literatura por Ferreira e Áquila (2000), que afirmam que o atraso na germinação é um dos indicadores mais sensíveis da alelopatia, ocorrendo frequentemente em concentrações onde a viabilidade da semente ainda é mantida. Resultados similares foram encontrados por Rizzardi *et al*. (2008) ao estudarem extratos de brassicáceas, observando que, embora as sementes consigam germinar eventualmente, o vigor e a uniformidade são comprometidos, o que a campo pode resultar em emergência desuniforme e maior suscetibilidade a pragas.

Neste estudo, observou-se que o aumento das concentrações do extrato aquoso da parte aérea de *R. sativus* promoveu a redução do Índice de Velocidade de Germinação (IVG) do trigo, indicando um efeito alelopático inibitório. Estes resultados são semelhantes aos achados de Bernardi, Pereira de Nóbrega e Rocha (2019), os quais, ao avaliarem o efeito de extratos de *Raphanus raphanistrum* (espécie pertencente ao mesmo gênero) sobre sementes de trigo, também constataram que as maiores concentrações afetaram negativamente a velocidade de germinação. Tal atraso no processo germinativo pode ser atribuído à ação de aleloquímicos presentes nas Brassicáceas, predominantemente os glucosinolatos, que, ao serem hidrolisados, formam isotiocianatos. Conforme explicado por Wandscheer *et al*. (2011), esses compostos são reconhecidos pela sua elevada fitotoxicidade, interferindo na permeabilidade da membrana celular e inibindo enzimas essenciais para a mobilização de reservas, mecanismos que justificam a redução observada no IVG.

O modelo de regressão linear ajustado aos dados é representado pela equação: $y = -4{,}3137x + 61{,}837$ (Figura 7). O valor de R^2 muito próximo de 1,0 (ou seja, 98,66 %) indica que a variação na concentração do extrato de nabo forrageiro explica quase toda a variação observada no comprimento da radícula do trigo. Isto sugere um ajuste excelente do modelo linear aos dados experimentais, reforçando a confiança na relação de dependência observada.

Figura 7 - Comprimento de radícula (mm) de plântulas de trigo submetidas a diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Figura 7 ilustrou a um aumento no comprimento da radícula entre a testemunha (0 %), que apresentou uma média de 59,86 mm, e a concentração de 1 % do extrato, com média de 60,20 mm. Este achado sugere que, na concentração mais baixa avaliada (1 %), as substâncias alelopáticas não exerceram um efeito inibitório perceptível no crescimento da radícula, ou estavam presentes em quantidades sub-letais, podendo até ter induzido um leve efeito estimulatório, embora este não tenha sido estatisticamente significativo.

A partir da concentração de 2,5 %, onde o comprimento da radícula registrou 50,59 mm, observou-se uma diminuição no crescimento. A inibição máxima foi verificada na concentração mais elevada, 10 %, na qual o comprimento da radícula foi drasticamente reduzido para 19,82 mm. Este valor representa uma redução de aproximadamente 67 % no crescimento, quando comparado a testemunha (0 %).

Os resultados demonstram de forma clara e altamente significativa que o extrato aquoso de *R. sativus* exerce um efeito alelopático negativo (fitotóxico) sobre o crescimento inicial do trigo.

A figura 7 mostrou que o comprimento da radícula (CR) demonstrou-se um parâmetro altamente sensível, apresentando um efeito inibitório pronunciado especialmente nas concentrações mais elevadas (7,5 % e 10 %). A radícula é,

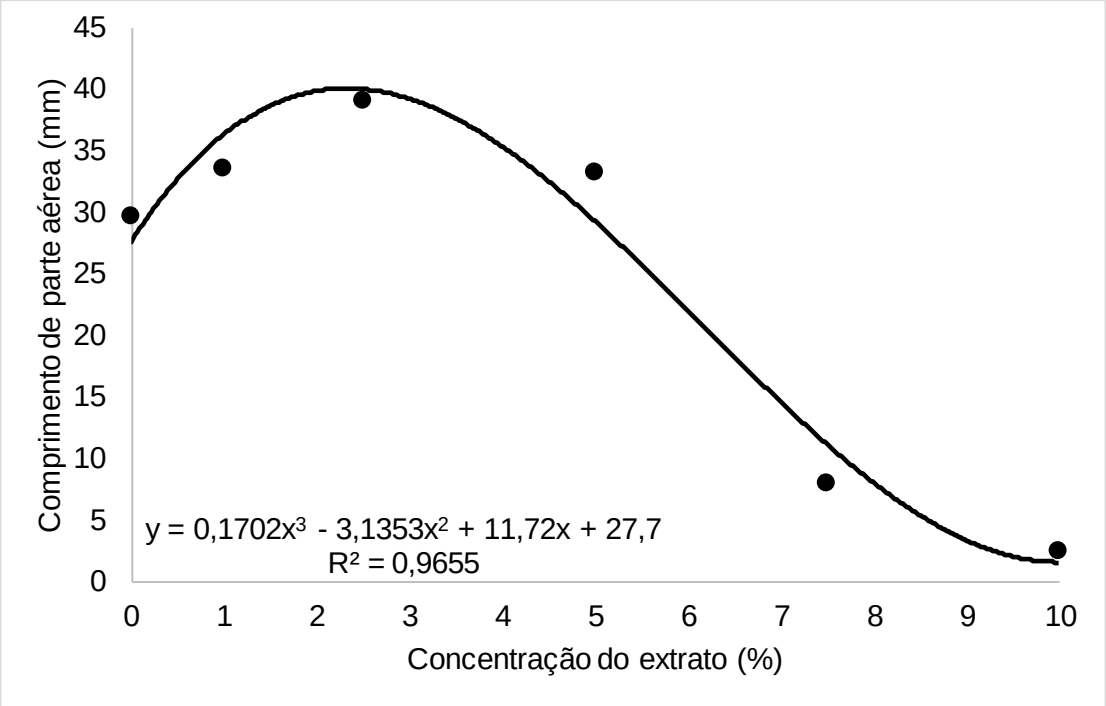
frequentemente, o primeiro órgão da plântula a entrar em contato direto com os aleloquímicos presentes no substrato, o que justifica sua elevada responsividade como indicador de atividade alelopática (Ferreira; Áquila, 2000). Suas células em divisão (meristema) possuem elevadas taxas metabólicas. Essa característica fisiológica, aliada ao contato direto com os compostos presentes no solo, torna as raízes particularmente vulneráveis a esse tipo de estresse ambiental (Cruz-Ortega *et al*., 1998). A inibição do crescimento radicular é um dos indicativos mais eficientes de alelopatia, uma vez que as substâncias tóxicas tendem a bloquear rapidamente a divisão e o alongamento celular nas pontas das raízes (Ferreira; Áquila, 2000). Chon *et al*. (2005) explicam que compostos alelopáticos podem induzir necrose nas pontas das raízes, inibição da mitose e alteração na permeabilidade da membrana celular, impedindo a absorção adequada de água. Esta inibição radicular é crítica para o trigo, pois limita o estabelecimento da cultura e sua capacidade de exploração do solo logo após a emergência. Essa constatação alinha-se a estudos como o de Tokura e Nóbrega (2006), que também observaram um potencial alelopático inibitório em extratos aquosos de *R. sativus* sobre o crescimento radicular de plântulas de cereais, como o milho. A severa redução do sistema radicular compromete diretamente a capacidade de absorção de água e nutrientes, afetando criticamente o estabelecimento e a sobrevivência inicial da plântula no ecossistema.

Se o nabo forrageiro for empregado como planta de cobertura em um sistema de plantio direto com o objetivo de controle de plantas daninhas, o potencial de supressão de espécies sensíveis (como o trigo, se ele fosse a planta daninha-alvo) é considerado elevado. Contudo, caso o trigo seja a cultura subsequente a ser estabelecida na área, é importante que se considere e respeite o intervalo de tempo adequado entre a dessecação ou manejo da biomassa de nabo e a semeadura do trigo. Esta cautela é essencial para mitigar o risco de fitotoxicidade residual demonstrada, a qual pode comprometer o estabelecimento e o rendimento inicial da cultura principal.

Segundo a Figura 8, a relação entre a concentração do extrato e o crescimento foi modelada por uma função polinomial de terceiro grau ($y = 0{,}1702x^3 - 3{,}1353x^2 + 11{,}72x + 27{,}7$), que demonstrou um alto ajuste aos dados experimentais, evidenciado pelo coeficiente de determinação (R^2) de 0,9655. A análise dos resultados revela um efeito bifásico (hormético) do extrato de nabo forrageiro no crescimento da parte aérea

de plântulas de trigo, caracterizado por um estímulo ao crescimento em concentrações baixas e uma inibição em concentrações mais altas.

Figura 8 - Comprimento de parte aérea (mm) de sementes de trigo submetidas a diferentes concentrações de extrato aquoso de nabo forrageiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Inicialmente, as concentrações mais baixas do extrato (1 % a 5 %) promoveram um aumento no crescimento da parte aérea em relação a testemunha (0 %). O crescimento máximo foi observado na concentração de 2,5 %, com um comprimento médio de 39,12 mm, superando significativamente a testemunha (29,71 mm). A concentração de 1 % (33,60 mm) também resultou em um crescimento superior a testemunha.

Este fenômeno de estimulação em baixas doses é a característica central da hormese, um processo em que substâncias que são inibitórias ou tóxicas em altas doses atuam como bioestimulantes em quantidades reduzidas. Este efeito pode ser atribuído à ação dos metabólitos secundários presentes no extrato, que, em concentrações não tóxicas, podem funcionar como reguladores de crescimento ou por meio da ativação de mecanismos de defesa e reparo da plântula que, por sua vez, acabam por promover o desenvolvimento (Calabrese; Baldwin, 2003; Matsuo *et al*., 2017). O efeito bifásico observado é atribuído à natureza composicional do extrato aquoso. Postula-se que, nas baixas concentrações (1 % e 2,5 %), os compostos

bioativos e nutrientes presentes foram suficientes para induzir uma resposta de bioestimulação. Este efeito se manifesta pela promoção da elongação celular, que supera ou mascara o potencial fitotóxico incipiente dos aleloquímicos.

O incremento no desenvolvimento vegetal em doses reduzidas é, frequentemente, enquadrado no conceito de hormese, um mecanismo no qual o estresse de baixa intensidade desencadeia a ativação de vias metabólicas de defesa e crescimento na planta, resultando em um incremento no desenvolvimento vegetal.

A partir da concentração de 5 %, observa-se um declínio acentuado no comprimento da parte aérea, indicando um forte efeito alelopático inibitório. A concentração de 5 % (33,26 mm) ainda se mantém em um nível de crescimento similar ou ligeiramente superior a testemunha, mas já sugere o início da toxicidade. O efeito inibitório torna-se extremamente pronunciado nas concentrações mais elevadas: em 7,5 %, o comprimento médio é drasticamente reduzido para 7,92 mm, e atinge seu valor mínimo em 10 %, com apenas 2,42 mm. Esta inibição é um indicativo claro da presença de aleloquímicos fitotóxicos no extrato de nabo forrageiro que, em altas doses, atingem concentrações capazes de interferir em processos celulares vitais, como a divisão e alongamento celular e a absorção de nutrientes, comprometendo severamente o desenvolvimento da plântula de trigo (Rice, 1984).

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que o extrato aquoso da parte aérea de *R. sativus* exerceu efeito alelopático inibitório sobre a cultura do trigo, afetando negativamente o Índice de Velocidade de Germinação (IVG), o Comprimento da Radícula (CR) e o Comprimento da Parte Aérea (CPA), mesmo nas menores concentrações avaliadas (1 %).

O crescimento da parte aérea (CPA) do trigo também foi prejudicado acima de 5% de concentração do extrato. Embora a parte aérea, por vezes, seja menos sensível que a radícula, o prejuízo inicial no desenvolvimento do sistema radicular exerce um impacto subsequente no crescimento do hipocótilo e na expansão foliar. Estudos de Nery *et al*. (2013) com extratos de *R. sativus* demonstraram que, dependendo da concentração, ocorre a inibição do desenvolvimento de plântulas alvo. A presença de compostos fenólicos e outros metabólitos secundários no extrato aquoso pode alterar a fotossíntese e a respiração celular, resultando em plântulas menores e com menor vigor, conforme observado neste trabalho nas dosagens de 10 %.

O estímulo ao crescimento da parte aérea observado nas menores concentrações (1 % a 5 %) caracteriza um efeito bifásico conhecido como hormese.

Segundo Calabrese e Baldwin (2003), a hormese é um fenômeno dose-resposta onde baixas doses de um estressor (neste caso, os aleloquímicos) estimulam processos fisiológicos, enquanto altas doses os inibem. Duke *et al*. (2006) explicam que, em níveis subletais, as toxinas podem induzir uma resposta adaptativa de 'supercompensação' na planta, acelerando o metabolismo e o crescimento como uma estratégia de sobrevivência ao estresse percebido. No entanto, ao ultrapassar o limiar de toxicidade (a partir de 5 %), os mecanismos de reparo são saturados e o efeito inibitório passa a predominar, como observado nas doses de 7,5 % e 10 %.

Portanto, os dados aqui apresentados reforçam a necessidade de manejo adequado do nabo forrageiro antecedendo o trigo. Recomenda-se um intervalo de tempo entre o manejo (dessecação/rolagem) do nabo e a semeadura do trigo para permitir a degradação natural dos aleloquímicos, minimizando os efeitos fitotóxicos sobre o IVG e o crescimento inicial (CPA e CR) da cultura comercial.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O extrato aquoso de nabo forrageiro apresentou efeito alelopático inibitório significativo sobre a cultura do milho. O extrato afetou negativamente tanto a percentagem final de germinação quanto o Índice de Velocidade de Germinação . O desenvolvimento da parte aérea também foi reduzido de forma progressiva com o aumento da concentração do extrato. Contudo, o comprimento da radícula (CR) do milho não foi significativamente afetado nas condições testadas.

Para a cultura do trigo, o extrato não afetou a percentagem final de germinação. No entanto, demonstrou um efeito alelopático significativo no vigor e no desenvolvimento inicial das plântulas. O Índice de Velocidade de Germinação foi reduzido pelo aumento da concentração, indicando um atraso no processo germinativo. O comprimento da radícula foi a variável mais sensível, sofrendo uma inibição linear com o aumento da dose do extrato .

Foi observado um efeito hormético (bifásico) no comprimento da parte aérea do trigo. Concentrações baixas do extrato (1 % a 5 %) estimularam o crescimento da parte aérea em relação a testemunha, enquanto concentrações elevadas (7,5 % e 10 %) causaram inibição. Este fenômeno não foi observado no milho.

Ao comparar a sensibilidade das culturas, o milho mostrou-se mais vulnerável na fase de germinação, enquanto o trigo foi mais sensível no desenvolvimento inicial da radícula, embora sua germinação final não tenha sido comprometida. Estes resultados são válidos para os genótipos avaliados.

Sugere-se a realização de estudos a campo e também utilizando outras cultivares para verificar se a lixiviação natural da palhada produz concentrações de aleloquímicos suficientes para reproduzir a fitotoxidez observada em laboratório.

REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D. *et al*., Adaptação de espécies utilizadas para cobertura de solo no sul do rio grande do sul - **Revista Brasileira de AGROCIÊNCIA**, v. 6 n° 1, 47-52. Pelotas-RS, 2000.

ALMEIDA, F. S. Efeitos alelopáticos de resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 4, p. 433-444, 1988.

ALMEIDA, F. S. **Alelopatia e as plantas**. Londrina: IAPAR, 2008.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D. P. **Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n. 208, p. 25-36, jan./fev. 2001.

BERNARDI, D.; PEREIRA DE NÓBREGA, L. H.; ROCHA, D. M. Alelopatia do extrato aquoso de *Raphanus raphanistrum* sobre a germinação de sementes e crescimento de plântulas de trigo e alface. **Varia Scientia Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 39–48, 2019.

BONDESAN, L. B. *et al*. Alelopatia de nabo forrageiro na germinação e crescimento inicial de culturas de verão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 3, p. 348-356, 2018.

BORÉM, A.; SCHEEREN., P. L. **Trigo**: do plantio a colheita. Viçosa: UFV, 2015. 260 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Toxicology and the dose-response: progress and challenges. **Human & Experimental Toxicology**, v. 22, n. 4, p. 165-171, 2003.

CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná. **Boletim Técnico Instituto Agronômico do Paraná**. Londrina, n. 35, p. 1-36, 1990.

CANTERO-MARTINEZ, C.; O'LEARY, G. J.; CONNOR, D. J. Stubble retention and nitrogen fertilisation in a fallow-wheat rainfed cropping system. 1. Soil water conservation, growth and yeld. **Soil Tillage Research**, Oxford, v. 34, p. 79-94, 1995.

CASSOL, C. **Plantas de cobertura e adubação nitrogenada como fonte de nitrogênio à cultura do milho em plantio direto.** 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

CHON, S. U. *et al*. Allelopathic potential in lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 3, p. 309-317, 2005.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF: CONAB, v. 12, 2024.

CORRÊA, M. L. P. *et al*. Potencial alelopático de extratos aquosos de plantas de cobertura sobre a germinação de sementes de milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 7, n. 3, p. 65-71, 2020.

CRUZ, M. E. S. *et al*. Alelopatia de extratos aquosos de nabo forrageiro na germinação e crescimento inicial de milho. **Revista Cultivando o Saber**, v. 13, n. 2, p. 122-133, 2020.

CRUZ-ORTEGA, R.; ANAYA, A.L.; HERNÁNDEZ-BAUTISTA, B.E.; LAGUNA-HERNÁNDEZ, G. Effects of Allelochemical Stress Produced by Sicyos deppei on Seedling Root Ultrastructure of *Phaseolus vulgaris* and *Cucurbita ficifolia*. **Journal of Chemical Ecology**, 1998, vol. 24. p. 2039-2057.

DE BAETS, S. *et al*. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. **CATENA**, v. 85, n. 3, p. 237–244, 2011.

DENARDIN, J. E. *et al*., **Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 39 p.

DUKE, S. O. *et al*. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlook on Pest Management**, v. 17, n. 1, p. 29-33, 2006.

EINHELLIG, F. A. Interactions Involving Allelopathy in Cropping Systems. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 6, p. 886–893, 1996.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486917. Acesso em: 25 out. 2025.

EMBRAPA TRIGO. **A cultura do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. (Sistemas de Produção, 18). Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1155370/cultivo-de-trigo. Acesso em: 25 out. 2025.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT: Crop Production**. Rome: FAO, 2024. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#home. Acesso em: 25 out. 2025.

FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: Uma Área Emergente Da Ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal.** v. 12, n. 1, p. 175-204, 2000.

FERREIRA, A. Interferência: Competição e Alelopatia. In: FERREIRA, A. G.; BORGUETTI, F. **Germinação do básico ao aplicado**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.253-264.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRANCHINI, J. C. *et al*. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011. 52 p.

FUSSELL, B. **The story of corn**. New York: Alfred A. Knopf, 1992.

GAZZIERO, D. L. P. Importância do manejo de plantas daninhas no período de entressafra. **Revista Plantio Direto**, n. 145, p. 18-24, 2015.

HEINZ, R. *et al*., Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, 2011.

HEINZMANN, F X., Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 9, p. 1021-1030, 1985.

HARAMOTO, E. R.; GALLANDT, E. R. Brassica cover cropping for weed management: A review**. Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 19, n. 4, p. 187-198, 2004.

INNECCO, R.; DE-POLLI, H. Alelopatia: princípios básicos e aspectos gerais. **Seropédica**: Embrapa Agrobiologia, 2002.

JESSOP, R. S.; STEWART, L. W. Effects of crop residues, soil disturbance and nitrogen on early growth of wheat (Triticum aestivum). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 74, n. 1, p. 101-109, 1983.

LIMA, L. B. *et al*. Efeito alelopático de extratos aquosos de nabo forrageiro sobre a germinação e crescimento inicial de milho. **Agrarian**, Dourados, v. 11, n. 40, p. 108-115, 2018.

LIMA FILHO, O. F. de *et al*. (eds.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e prática. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2023. v. 1. 586 p.

LIMA, R. C.; LAJÚS, C. R. Potencial alelopático do extrato da parte aérea do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) sobre o crescimento inicial do milho (*Zea mays* L.) em casa de vegetação. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia-GO, v. 18, n. 37, p. 423-434, 2021. Disponível em: https://www.conhecer.org.br/enciclop/2021C/potencial%20alelopatico.pdf. Acesso em: 14 nov. 2025.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MALHEIROS, A.; PERES, M. T. L. P. Alelopatia: Interações Químicas entre espécies. In: YUNES, R. A.; CALIXTO, J. B. **Plantas Medicinais sob a ótica da Química Medicinal Moderna.** Chapecó: Argos, 2001. p. 503-523.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.

MATSUO, E. *et al*. Hormesis effects of allelochemicals: a case study of p-coumaric acid on the growth of Arabidopsis thaliana. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 143, p. 30-36, 2017.

MATSUOKA, Y. *et al*. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 99, n. 9, p. 6080-6084, 2002.

MORI, C.; ANTUNES, J. M.; FAÉ, G. S.; ACOSTA, A. da S. **Trigo: O produtor pergunta, a Embrapa responde**: coleção 500 perguntas e 500 respostas. Brasília: Embrapa, 2016. 314 p.

MUZI, C. D. *et al*. Plantas de cobertura de outono-inverno e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00557, 2019.

NERY, M. C. *et al*. Atividade alelopática de extratos de plantas de cobertura sobre soja, pepino e alface. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 8, n. 5, p. 01-07, 2013.

NEVES, L. C. M. Glucosinolatos: Estrutura Química, Mecanismo de Ativação Enzimática e Atividade Biológica. In: **MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**. Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2005.

OLIVEIRA, A. S. **Características agronômicas e qualidade de nabo forrageiro em função da densidade de semeadura e espaçamento.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

PEREIRA, D. S. *et al*. Potencial alelopático de extratos aquosos de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) sobre a germinação de milho e feijão. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n. 2, p. 146-154, 2011.

PETERSEN, J.; WARTENBERG, A.; SØRENSEN, J. C. Allelopathic compounds in Brassica. In: **Allelopathy in agroecosystems**. CRC Press, Boca Raton, 2001. p. 115-121.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PIRES, J. L. F. Artigo: A importância do trigo para a sustentabilidade da agricultura brasileira. **Embrapa Trigo**, 2017.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289 p.

REDIN, M.; SEIDEL, M. A. Efeito alelopático de resíduos culturais na germinação de sementes e crescimento de plântulas de milho e soja**. Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 67-78, 2025.

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2. ed. Orlando: Academic Press, 1984. 422 p.

RIZZARDI, M. A. *et al*. Efeito de extratos aquosos de plantas daninhas sobre a germinação e o crescimento inicial de soja e milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 271-279, 2008.

SÁ, J. C. M. *et al*., 2010. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In L. I. PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.), **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes** (Vol. 1, pp. 383–420). Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute—Brasil (IPNI).

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Dourados: Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1998. 248 p.

SANTOS, J. V. L. *et al*. Alelopatia de plantas de cobertura no manejo de plantas daninhas em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 238-251, 2017.

SCHEEREN, P. L; CASTRO, R. L. de; CAIERÃO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: BORÉM, A; SCHEEREN, P. L. **Trigo: do plantio a colheita.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. Cap. 2, p. 35-55.

SCHNEIDER, F. H.; SILVA, M. R. Fisiologia da germinação e estabelecimento de plântulas de milho. In: BORÉM, A.; GALIÃO, E. B. (org.). **Milho**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2018. p. 87-112.

SILVA, M. A. *et al*. Efeito alelopático de coberturas de inverno sobre a germinação e desenvolvimento inicial de trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, e5646, 2019.

SILVA, Z. L. Alelopatia e defesa em plantas. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 258-259, p. 90-96, 1978.

SILVA, D.B. da. *et al*., **Trigo para o abastecimento familiar**: do plantio a mesa. Brasília: Embrapa – SPI, 1996. 176 p.

SILVA, A. A. da. *et al*., Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 37, n. 4, p. 928-935, 2007.

SOARES, G.A.R.; SILVA, M.D. **Vazio outonal:** é melhor evitar, pensando a sustentabilidade do sistema de produção. Equipe Mais Soja, publicado em 27 de abril de 2020. Disponível em: https://maissoja.com.br/vazio-outonal-e-melhor-evitar-pensando-a-sustentabilidade-do-sistema-de-producao/. Acesso em: 25 out. 2025.

SOUZA, L. S.; SOUZA, R. M.; PASQUAL, M. Efeito do sorgoleone na germinação e crescimento inicial de plantas de feijão, trigo, caruru e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 2029-2035, 1999.

SPIASSI, A. *et al*. Alelopatia de palhadas de coberturas de inverno sobre o crescimento inicial de milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 591-604, 2011.

TAIZ, L. *et al*. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TOMAZONI, A. R. **Densidades de semeadura de mix de cobertura: produção de massa seca e acúmulo de nitrogênio.** Trabalho de Conclusão de Curso de Agronomia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Dois Vizinhos – PR, 2023.

TOKURA, L. K.; NÓBREGA, L. H. P. Alelopatia de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas de milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 375-382, 2006.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **Wheat: production**. Washington, DC, 2024. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0410000. Acesso em: 25 out. 2025.

WANDSCHEER, A. C. D. *et al*. Atividade alelopática de folhas e raízes de azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e nabo (*Raphanus sativus* L.) sobre a germinação de soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 10, n. 1, p. 9-15, 2011.

WHITTAKER, R. H.; FEENY, P. P. Allelochemics: chemical interaction between species. **Science**, v. 171, n. 3973, p. 757-770, 1971.