

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

## **Estratégias para depleção do banco de sementes de azevém do solo**

Afonso Henrique Schaeffer

Passo Fundo

2020

Afonso Henrique Schaeffer

Estratégias para depleção do banco de sementes de azevém do solo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Agronomia.

Orientadora:  
Prof<sup>ª</sup>. Dra. Nadia Canali Lângaro  
Coorientador:  
Prof. Dr. Leandro Vargas

Passo Fundo

2020

CIP – Catalogação na Publicação

---

S294e Schaeffer, Afonso Henrique

Estratégias para depleção do banco de sementes de  
azevém do solo [recurso eletrônico] / Afonso Henrique  
Schaeffer. – 2020.

2.2 MB ; PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Nadia Canali Lângaro.

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Vargas.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade  
de Passo Fundo, 2020.

1. Ervas daninhas - Controle. 2. Plantas forrageiras.  
3. Azevém. 4. Glifosato - Efeito fisiológico. I. Lângaro,  
Nadia Canali, orientador. II. Vargas, Leandro,  
coorientador. III. Título.

CDU: 632.51

# ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO



**PPGAgro**  
Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.**

**“Estratégias para depleção do banco de sementes de azevém do solo”**

**Elaborada por**

**Afonso Henrique Schaeffer**

**Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em  
Agronomia – Produção e Proteção de Plantas**

**Aprovada em: 14/04/2020  
Pela Comissão Examinadora**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'NLC Lângaro'.

**Dra. Nadia Canali Lângaro**  
Presidente da Comissão Examinadora  
Orientadora

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'NLC Lângaro'.

**Dr. Fernando Machado dos Santos**  
IFRS

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'NLC Lângaro'.

**Dr. Leandro Vargas**  
Embrapa Trigo - coorientador

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'NLC Lângaro'.

**Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi**  
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'NLC Lângaro'.

**Dra. Jaqueline Huzar Novakowiski**  
UPF

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'NLC Lângaro'.

**Dr. Eraldo Lourenso Zanella**  
Diretor FAMV

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Airton Nicolau Schaeffer e Ivanilde Panisson Schaeffer e aos meus irmãos, Karoline e Otávio Augusto, dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo incentivo transmitido e por todo seu empenho e esforço quanto à materialização dos meus objetivos. Ao meu irmão Otávio Augusto, meu companheiro de estudos, pela colaboração durante esses dois anos.

À minha orientadora, Dra. Nadia Canali Lângaro, por toda sua dedicação, paciência e conhecimentos transmitidos antes e durante minha inserção na pesquisa e também à equipe do Laboratório de Análise de Sementes da UPF, pela ajuda em todas as etapas da pesquisa.

Ao meu coorientador, Dr. Leandro Vargas, por disponibilizar seu tempo, clarear caminhos difíceis e compartilhar seu laboratório para realização de etapas importantes da pesquisa. À equipe do Laboratório de Plantas Daninhas da Embrapa Trigo, Egidio Sbrissa, Marina Teixeira, Alex Oliveira, Glauco Leães, Wania Wagner, João Bertol, João Manoel Borges, João Vitor Piccinini e Bruno Benetti, por toda ajuda, dedicação, paciência e companheirismo para realização dos experimentos. À equipe do Laboratório de Análise de Sementes da Embrapa Trigo, pelas dúvidas esclarecidas e por toda ajuda no processo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAgro) da UPF, pela formação de recursos humanos e pela possibilidade de atuar na pesquisa. À Dra. Jaqueline Huzar Novakowiski, pelo auxílio e sugestões na parte estatística do trabalho.

Ao programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Particulares (PROSUC) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – unidade Trigo (Embrapa Trigo), pela ajuda financeira.

Aos meus amigos e colegas de formação, pelos momentos inesquecíveis e a todos os que não estão aqui mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para a minha formação, sou grato a isso!

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”*  
(Albert Einstein)



## RESUMO

SCHAEFFER, Afonso Henrique. Estratégias para depleção do banco de sementes de azevém do solo. [128] f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), é uma das principais espécies de plantas daninhas de regiões de clima temperado e subtropical. A natureza altamente competitiva, variabilidade genética, longevidade e expressiva produção de sementes favorecem sua rápida expansão geográfica, bem como infestações cada vez mais problemáticas de campos de cereais de inverno. Sementes de azevém são frequentemente dormentes e, quando disseminadas, podem germinar de forma escalonada na estação de cultivo. A persistência de plantas daninhas é dependente do banco de sementes do solo, assim, seu esgotamento pode ser uma estratégia excelente de manejo antes que espécies infestantes passem a afetar a cultura econômica. Desse modo, o estudo objetivou avaliar práticas para redução do retorno de sementes e quantidade de sementes de azevém presentes no banco de sementes do solo, além disso conhecer a dinâmica do banco de sementes de azevém em campo. Logo, três estudos foram realizados. No primeiro objetivou-se avaliar a produção e a qualidade fisiológica de sementes de azevém, em resposta à aplicação de herbicidas e reguladores de crescimento vegetal, em três estádios de desenvolvimento de planta. No segundo estudo, o objetivo foi caracterizar a dinâmica do banco de sementes de dois biótipos de *L. multiflorum*, um resistente e outro sensível ao glifosato, em sistema de plantio direto. E por fim, o terceiro experimento teve por objetivo avaliar o desempenho de reguladores de crescimento vegetal e sua interação com nitrato de potássio ( $KNO_3$ ), na indução ou liberação de dormência e germinação de sementes de biótipos de azevém sensível e resistente ao glifosato. A produção de sementes de azevém foi reduzida em até 100% e esse resultado é dependente de produto, dose e estádio de planta em que é aplicado. Em campo o azevém distribui a germinação ao longo do tempo e esse comportamento é equivalente em biótipo sensível e resistente ao glifosato. ABA e paclobutrazol inibem a germinação de sementes de azevém e fluridone a estimula, mas as plântulas resultantes são albinas e incapazes de continuar seu desenvolvimento.  $KNO_3$  estimula a germinação na maioria dos casos e anula parcialmente os efeitos inibitórios de ABA. Em conclusão, esta pesquisa fornece informações sobre práticas para redução da quantidade e reposição de sementes de azevém no banco de sementes do solo, que podem ser implementadas para evitar a competição de azevém com culturas e disseminação da resistência de azevém a herbicidas. Em adição, o conhecimento do comportamento germinativo do banco de sementes de azevém no solo pode ajudar a prever o momento de emergência de plântulas e executar medidas apropriadas de controle.

Palavras-chave: 1. *Lolium multiflorum*. 2. Ressemeadura natural. 3. Dormência de semente. 4. Planta daninha. 5. Resistência ao glifosato.

## ABSTRACT

SCHAEFFER, Afonso Henrique. Strategies for depleting the ryegrass soil seed bank. [128] f. Thesis (Master in Agronomy) – University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

The ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.), is one of the main weed species in regions of temperate and subtropical climate. The highly competitive nature, genetic variability, longevity and expressive seed production favor its rapid geographical expansion, as well as increasingly problematic infestations of winter cereal fields. Ryegrass seeds are often dormant and, when disseminated, can germinate gradually in the growing season. Weed persistence is dependent on the soil seed bank, so its depletion can be an excellent management strategy before weed species start to affect economic culture. Thus, the study aimed to evaluate practices for reducing seed return and the amount of ryegrass seeds present in the soil seed bank, in addition to knowing the dynamics of the ryegrass seed bank in the field. Therefore, three studies were carried out. The first aimed to evaluate the production and the physiological quality of ryegrass seeds, in response to the application of herbicides and plant growth regulators, in three stages of plant development. In the second study, the aim was to characterize the dynamics of the seed bank of two biotypes of *L. multiflorum*, one resistant and the other sensitive to glyphosate, under no-tillage system. Finally, the third experiment aimed to evaluate the performance of plant growth regulators and their interaction with potassium nitrate (KNO<sub>3</sub>), in inducing or releasing dormancy and germinating seeds of sensitive and glyphosate-resistant ryegrass biotypes. The production of ryegrass seeds has been reduced by up to 100% and this result is dependent on the product, dose and stage of the plant in which it is applied. In the field, ryegrass distributes germination over time and this behavior is equivalent in a sensitive and glyphosate resistant biotype. ABA and paclobutrazol inhibit the germination of ryegrass seeds and fluridone stimulates it, but the resulting seedlings are unable to continue their development by tissue bleaching. KNO<sub>3</sub> stimulates germination in most cases and partially cancels the inhibitory effects of ABA. In conclusion, this research provides information on practices for reducing the quantity and replacement of ryegrass seeds in the soil seed bank, which can be implemented to prevent ryegrass competition with crops and the spread of ryegrass resistance to herbicides. In addition, knowledge of the germinative behavior of the ryegrass seed bank in the soil can help predict the time of seedling emergence and carry out appropriate control measures.

Key words: 1. *Lolium multiflorum*. 2. Natural re-sowing. 3. Seed dormancy. 4. Weed. 5. Glyphosate resistance.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>16</b>
2.1	<i>Azevém</i>	16
2.2	<i>Dormência e germinação de sementes</i>	19
2.3	<i>Regulação hormonal de dormência e germinação de sementes</i>	23
2.4	<i>Sinalização da germinação de sementes por nitrato</i>	27
2.5	<i>Banco de sementes do solo</i>	29
2.6	<i>Melhores práticas e recomendações de manejo de plantas daninhas (BMPs)</i>	32
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I</b>	<b>35</b>
3.1	<i>Resumo</i>	35
3.2	<i>Introdução</i>	36
3.3	<i>Material e métodos</i>	39
3.4	<i>Resultados e discussão</i>	42
3.5	<i>Conclusões</i>	55
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II</b>	<b>57</b>
4.1	<i>Resumo</i>	57
4.2	<i>Introdução</i>	57
4.3	<i>Material e métodos</i>	60
4.4	<i>Resultados e discussão</i>	63
4.5	<i>Conclusões</i>	68
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III</b>	<b>70</b>
5.1	<i>Resumo</i>	70
5.2	<i>Introdução</i>	71
5.3	<i>Material e métodos</i>	75
5.4	<i>Resultados e discussão</i>	77
5.5	<i>Conclusões</i>	95
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>96</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b>	<b>98</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>99</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>122</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Plantas daninhas são um problema para as práticas agrícolas atuais pois afetam negativamente a qualidade de sementes e o rendimento de culturas. O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), também conhecido como azevém italiano, caracteriza-se como importante e problemática planta daninha anual em regiões temperadas e subtropicais no mundo. Em cereais de inverno, o azevém compete intensamente por recursos do meio ambiente, principalmente em função de suas semelhanças morfofisiológicas em termos de desenvolvimento, altura e arquitetura de dossel, além de demanda de recursos, uma vez que pertence à mesma família botânica.

O sucesso de *Lolium* como planta daninha é devido à sua ampla variabilidade genética e adaptabilidade, juntamente com sua capacidade elevada de perfilhamento e produção de sementes. A capacidade de produzir um número expressivo de sementes por planta e subsequentemente alimentar o banco de sementes do solo é um problema, não apenas nas medidas de controle de azevém a adotar, mas também na dispersão de azevém resistente a herbicidas.

Poáceas são plantas daninhas geneticamente diversas, com um sistema de reprodução que facilita a adaptação rápida e que leva à evolução de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas. O manejo de azevém se torna ainda mais complicado devido à ocorrência de múltiplos episódios de resistência causados por aplicações repetidas de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação (como inibidores da EPSPs, ACCase e ALS). Entre as ações para reduzir o risco de resistência a herbicidas está a eliminação de novas adições de sementes de plantas daninhas ao banco de sementes do solo, com foco na prevenção da produção e na redução da quantidade de sementes. O conhecimento de componentes de aptidão relativos a biótipos resistentes e suscetíveis também é importante para prever e gerenciar a resistência.

A dormência de sementes adiciona uma certa dificuldade no processo de esgotamento do banco de sementes. Poáceas em geral apresentam mecanismos de dormência que impedem sua germinação logo após a maturação (dormência primária) ou ao longo do tempo caso as condições ambientais sejam desfavoráveis (dormência secundária). Sementes de *L. multiflorum* são dormentes quando dispersas. A compreensão da dormência de sementes de *L. multiflorum*, como ela se desenvolve e evolui, e como pode ser manipulada, pode contribuir muito para a remoção de plantas daninhas dentro de um programa de manejo integrado de plantas daninhas (MIPD).

A persistência de plantas daninhas depende do banco de sementes do solo. O banco de sementes do solo serve como reservatório de material genético, que permite uma variedade de respostas a condições ambientais e protegem as populações contra condições ambientais adversas temporárias. A dormência de sementes é definida como a incapacidade de uma semente viável germinar sob condições favoráveis e tem desempenhado um papel crítico na sobrevivência de plantas ao longo da evolução, pois garante que as sementes germinem em um momento apropriado.

Os fitohormônios desempenham papéis-chave como moléculas sinalizadoras para a comunicação entre os três componentes que constituem a semente (embrião, endosperma e revestimento) e estão envolvidos na indução ou inibição da germinação de sementes. O hormônio proeminente no controle de dormência e germinação é o inibidor de germinação ácido abscísico (ABA). Geralmente, a biossíntese e a sensibilidade do ABA aumentam durante o desenvolvimento e a maturação das sementes para evitar a germinação prematura. Acredita-se que as giberelinas (GAs) e o ABA tenham uma relação antagônica durante a germinação, na qual o ABA inibe a atividade de enzimas hidrolíticas e impede a germinação, enquanto as giberelinas aceleram a degradação de reserva de sementes por meio da atividade aprimorada da  $\alpha$ -amilase.

A semente também percebe e responde a mudanças de condições ambientais, como temperatura, luz, períodos de armazenamento, teor de água e nitrato. Assim como respostas a sinais ambientais, o nitrato interage com o metabolismo hormonal na semente, ele é conhecido por ser um estimulador de germinação para uma variedade ampla de

espécies de plantas. Além disso, outros hormônios vegetais como as citocininas e auxinas parecem interagir com a razão ABA/GA, regulando seu metabolismo e assim, promovendo ou inibindo a germinação de sementes.

Com a compreensão de processos envolvidos na indução e liberação de dormência em sementes de *L. multiflorum* pode ser possível desenvolver estratégias para manejar mais efetivamente essa planta daninha, sem aumentar ainda mais os recursos de herbicidas. O banco de sementes de azevém pode ser esgotado por estratégias de controle que abrangem etapas do ciclo de vida de uma semente, desde seu desenvolvimento à germinação.

A germinação de sementes de *L. multiflorum* é escalonada devido aos níveis de dormência e a requisitos específicos de germinação. Assim, as plantas sobrevivem para reabastecer o banco de sementes novamente. Técnicas agronômicas que previnam a produção de sementes e estimulem a germinação uniforme ou impeçam o estabelecimento de plântulas podem ajudar a esgotar o banco de sementes de plantas daninhas no solo e preservar a tecnologia de herbicidas seletivos a culturas pelo maior tempo possível.

Impedir ou diminuir a ressemeadura natural de azevém, conhecer aspectos de germinação entre biótipos e promover ou inibir a germinação de sementes utilizando reguladores de crescimento vegetal, são algumas práticas que podem ser implementadas no sistema plantio direto para redução do número de sementes presentes no banco de sementes do solo e também do risco de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Desse modo, esta pesquisa objetivou avaliar práticas para redução do retorno de sementes e quantidade de sementes de azevém presentes no banco de sementes do solo, além disso, conhecer a dinâmica do banco de sementes de azevém em campo.

O trabalho está organizado de modo que nesta “Introdução” apresentou-se a contextualização do tema, a problemática, a justificativa e o objetivo. O próximo componente – “Revisão de Literatura” – apresenta aspectos relacionados ao sujeito, *Lolium multiflorum* e aos objetos de pesquisa, dormência e germinação de semente, com as descobertas principais sobre o assunto publicadas nas principais revistas científicas da

área. Nos capítulos I, II e III são apresentados e discutidos os resultados obtidos de três estudos, em que o primeiro é sobre a aplicação de produtos químicos para controle da ressemeadura natural de azevém, o segundo sobre a dinâmica da germinação de sementes de azevém e o último sobre hormônios vegetais na regulação de dormência e germinação de semente de azevém. Em seguida faz-se “Considerações finais” a respeito dos três estudos e, por fim, apresenta-se a “Conclusão” do trabalho como um todo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O manejo de azevém representa prática importante nos sistemas de produção agrícola que busca manter produtividade elevada de cultivos. O uso de herbicidas para controle de plantas daninhas tornou-se uma prática comum, sendo empregada confiança excessiva no controle químico. Contudo, o uso destes produtos deve ser integrado a outros métodos de controle, para evitar a seleção de espécies daninhas resistentes (VARGAS et al., 2011). No Brasil já foram relatados casos de resistência de azevém a três locais de ação herbicida (inibidores da ACCase, ALS e EPSPs) e resistência múltipla a dois locais (inibidores da ACCase+EPSPs, ACCase+ALS e ALS+EPSPs) (HEAP, 2020), o que preocupa cerealistas da Região Sul do Brasil e obriga os produtores a buscar métodos diferentes de controle da espécie.

### 2.1 Azevém

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) também conhecido como azevém italiano é uma póacea anual, alógama, adaptada a temperaturas baixas, de ocorrência no inverno e na primavera. *L. multiflorum* é nativo da bacia do Mediterrâneo (Sul da Europa, Norte da África e Ásia Menor), se espalhou para a Europa e, após, para a América do Norte (BARARPOUR et al., 2017). No Brasil foi provavelmente introduzido por imigrantes italianos por volta de 1875 e encontra-se amplamente disseminado no país (NELSON et al., 1997).

A produtividade agrícola, especialmente em cultivos anuais, é afetada negativamente pela presença de plantas daninhas que diminuem a qualidade e o rendimento de culturas (JOHNSON et al., 2009). A natureza altamente competitiva, capacidade de fecundidade, variabilidade genética e potencial de hibridação (no gênero *Lolium*) favorecem a rápida expansão geográfica de azevém, bem como a infestação cada vez mais problemática de campos de cereais de inverno (GOGGIN; POWLES;



STEADMAN, 2012; CASTELLANOS-FRÍAS et al., 2016). A espécie é dispersa facilmente por fatores bióticos e abióticos e é caracterizada como uma importante planta daninha em culturas como trigo, soja, milho e pomares em diferentes países (SCURSONI et al., 2012; YANNICCARI et al., 2015; FERNÁNDEZ et al., 2017; BRUNHARO; HANSON, 2018; PETERSON et al., 2018).

As plantas daninhas anuais que infestam as principais culturas geralmente imitam a sua ontogenia e, assim, surgem ao mesmo tempo (BARRETT, 1983). Em cultivos de aveia-branca, cevada e trigo o azevém compete por recursos do meio, principalmente em função de suas semelhanças morfofisiológicas em termos de desenvolvimento, altura e arquitetura de dossel, além de demanda de recursos, uma vez que pertence à mesma família botânica (AGOSTINETTO et al., 2017). Um hábito de crescimento ereto pode fornecer uma vantagem competitiva para a planta daninha em relação à cultura, pois aumenta a captura e o uso de recursos, particularmente a radiação fotossinteticamente ativa (KORRES; FROUD-WILLIAMS, 2002).

A competitividade refere-se à capacidade de um organismo (o azevém, neste caso) de obter um melhor desempenho na aquisição de recursos em relação a outro organismo (cultura) dentro do mesmo habitat (KORRES et al., 2016). Na Argentina, a interferência de azevém reduziu em 20 a 30% o rendimento do trigo (SCURSONI et al., 2012). Bararpour et al. (2018) relataram que a infestação natural de azevém italiano reduziu a produção de trigo em média 70% e Hashem et al. (1998) mediram reduções de até 92%.

O sucesso de *L. multiflorum* como planta daninha é devido à sua variabilidade genética, adaptabilidade e fecundidade altas, mas também em razão de sua grande produção de sementes. Bararpour et al. (2017) relataram produção de até 45.000 sementes/m<sup>2</sup> e 36.393 sementes/planta de azevém, em campos de trigo infestados, ocasionadas por um número alto de perfilhos e sementes por espigeta/espiga. *L. multiflorum* produz o maior número de perfilhos, assim, pode ser considerado o mais competitivo do gênero (BARARPOUR et al., 2017).

As três espécies de *Lolium*, *L. rigidum* Gaud. (azevém anual ou rígido), *L. perenne* (azevém perene) e *L. multiflorum* Lam. (azevém italiano), são capazes de produzir descendentes híbridos férteis, resultando em um gradiente essencialmente contínuo de formas que podem ser difíceis de classificar em espécies (KLOOT, 1983). *Lolium* spp. estão entre as poáceas daninhas mais problemáticas, principalmente devido à alta capacidade de desenvolver padrões complexos de resistência a herbicidas (KOTOULASYKA; TAL; RUBIN, 2000; VARGAS et al., 2005; CHEN et al., 2018; HEAP, 2020). A capacidade do azevém de produzir um número grande de sementes por planta e subsequentemente aumentar a deposição de sementes no banco de sementes do solo é um grande problema, não apenas nas medidas de controle do azevém, mas também na evolução do azevém resistente a herbicidas (BARARPOUR et al., 2017).

O sistema de plantio direto, com sua influência benéfica para evitar a erosão do solo, eficiência no uso de água e rendimento de culturas, predomina em toda a região agrícola brasileira, resultando em uma dependência quase exclusiva de herbicidas para o manejo de plantas daninhas (JOHNSON et al., 2009). No entanto, as plantas daninhas desenvolveram estratégias para persistir, como a desintoxicação enzimática de herbicidas ou um local alvo de herbicida alterado (OWEN et al., 2007; AGOSTINETTO; VARGAS, 2014). Consequentemente, a resistência a herbicidas em plantas daninhas se tornou um dos maiores desafios da agricultura brasileira moderna.

O manejo do azevém se torna ainda mais complicado devido à ocorrência de múltiplos episódios de resistência causados pelas aplicações repetidas de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação (como inibidores da ACCase, ALS e EPSPs) (ROMAN et al., 2004; HEAP, 2020). Biótipos de azevém resistente ao glifosato foram relatados pela primeira vez em pomares do Chile em 2003 (PEREZ; KOGAN, 2003) e agora são relatados em pomares e campos de cereais de onze países: Argentina, Brasil, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, França, Inglaterra, Itália, Japão, Nova Zelândia e Suíça (HEAP, 2020).

A dormência de sementes, a suspensão da germinação sob condições favoráveis ao surgimento de embriões, têm desempenhado um papel crítico na sobrevivência de

plantas ao longo da evolução (NONOGAKI, 2019) e como muitas espécies de poáceas daninhas, as sementes de *L. multiflorum* são frequentemente dormentes quando disseminadas pela planta mãe.

## 2.2 Dormência e germinação de sementes

A dormência é um dos aspectos mais intensamente estudados na biologia de sementes e é definida pela incapacidade de sementes viáveis germinarem sob condições favoráveis (BEWLEY et al., 2013). É uma característica adaptativa em inúmeras espécies de plantas, permitindo que sobrevivam sob condições estressantes da natureza (FINKELSTEIN et al., 2008). Muitas sementes de plantas daninhas, incluindo as de *L. multiflorum*, ficam dormentes quando dispersas (MAIA et al., 2008; GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012). Essa característica de muitas espécies anuais de plantas daninhas pode ajudá-las a persistir sob condições de cultivo (BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2007).

A semente de azevém apresenta dormência primária na maturação e pode adquirir dormência secundária (RODRIGUEZ; JACOBO; DEREGIBUS, 1998). As sementes que são derramadas da planta-mãe em um estado dormente, exibem dormência primária, já a dormência secundária acontece quando as sementes no solo são induzidas (gradualmente) à dormência devido as condições desfavoráveis para germinação, por exemplo: a dormência secundária imposta a sementes que requerem luz e mantidas no escuro é denominada “skotodormancy” e a imposta por temperaturas altas é chamada de “termoinibição” (BEWLEY et al., 2013). As causas endógenas de dormência de sementes incluem fatores como desenvolvimento embrionário, impermeabilidade do revestimento de semente e fitohormônios (BIAN et al., 2018). O genótipo e o ambiente da planta-mãe impactam no nível de dormência primária de sementes (PENFIELD, 2017).

A dormência também é classificada em dois tipos no contexto da localização ou mecanismo de dormência: a dormência do embrião e a dormência imposta pelo revestimento. No caso da dormência do embrião, suas propriedades são de importância primordial. Na dormência imposta pelo revestimento, as propriedades de tecidos de

cobertura que são determinantes: incluem características mecânicas, químicas e de permeabilidade, as quais podem interferir ou suprimir a conclusão bem-sucedida da germinação pelo embrião. A dormência do embrião é comum em espécies lenhosas, mas às vezes é encontrada em plantas herbáceas, como algumas poáceas (por exemplo, aveia selvagem) (BEWLEY et al., 2013).

A dormência de semente garante que a mesma germine no momento apropriado (BASKIN; BASKIN, 2014). O fenômeno de dormência de semente é melhor compreendido em três aspectos: No populacional, a dormência de semente permite a formação de um banco no solo a partir do qual as plantas podem emergir em diferentes épocas do ano ou em resposta a distúrbios do ecossistema. No que tange a planta, plantas-mães desenvolveram individualmente mecanismos para manter o controle de germinação de sementes e gerar heterogeneidade em suas propriedades. Isso permite que as sementes germinem em diferentes momentos e lugares. E a semente, existem mecanismos para manter e interromper a dormência, geralmente em resposta a estímulos ambientais que limitam a germinação a janelas de tempo anuais específicas ou permitem que as sementes esperem que surjam lacunas no dossel (PENFIELD, 2017). A estratégia materna ideal é reduzir a competição entre parentes, produzindo descendentes com uma variedade de caracteres de dormência, permitindo a dispersão no tempo e no espaço e preenchendo o banco de sementes do solo (BEWLEY et al., 2013; BASKIN; BASKIN, 2014; PENFIELD, 2017).

A variação de dormência em uma população de sementes é uma estratégia utilizada para mitigar riscos ambientais de plantas que crescem em condições adversas (VENABLE; BROWN, 1988; HIERRO et al., 2009; LEWANDROWSKI et al., 2017). A semente pode ser sensível até à mudanças de temperatura de 1°C e pode usar variações de temperatura ambiente como uma maneira de gerar diversidade na germinação de sementes em uma única inflorescência (PENFIELD, 2017). Sementes coletadas na base da inflorescência estavam mais dormentes do que as do meio da inflorescência de *Lolium rigidum*, e isso foi explicado pelo fato de que durante o desenvolvimento, as sementes em posições diferentes podem experimentar diferenças de temperatura e/ou teor de água, bem como no particionamento de recursos, o que poderia influenciar seu “status” de dormência

(RECASENS et al., 2007). O tipo e a extensão de dormência exibida por um lote de sementes dependem de condições ambientais durante o desenvolvimento das sementes, de condições de germinação e de seu contexto genético (SCHRAMM et al., 2013), por exemplo, em muitos membros da família dos cariopses (Poaceae), as sementes de diferentes espiguetas têm diferentes níveis de dormência (BEWLEY et al., 2013).

Ao escalonar a emergência de plântulas durante a estação de cultivo, uma porção de indivíduos em uma população de plantas daninhas evita herbicidas pré e pós-emergentes ou outras práticas de controle (BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2007). Há evidências de que o cultivo intensivo seleciona uma dormência mais alta de sementes de plantas daninhas, visto que apenas a parte de germinação precoce de uma população é removida por medidas de controle, como o cultivo do solo e herbicidas aplicados antes ou na semeadura da cultura (MURPHY; LEMERLE, 2006; OWEN et al., 2011).

A germinação da semente é determinada por uma combinação do nível de dormência e fatores ambientais, como luz, oxigênio e temperatura (KOORNNEEF; BENTSINK; HILHORST, 2002; FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; DONG et al., 2012). A semente pode definir se as condições ambientais são apropriadas para a germinação, como uma abordagem de sobrevivência de plantas, em condições desfavoráveis (SHU et al., 2015; ORACZ; KARPIŃSKI, 2016), pois possuem uma temperatura limite intrínseca para a germinação, que é determinada por fatores ambientais e genéticos (BASKIN; BASKIN, 2014). Além disso, sementes de *Lolium* spp. são fotoblásticas positivas, ou seja, necessitam de luz para a germinação (GRAMSHAW, 1976; POPINIGIS, 1985; BRACCINI, 2011; GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012). Há evidências indicando que a percepção de sinais, como diferentes comprimentos de onda e temperatura alternadas permite que as sementes detectem um dossel sobrejacente ou uma profundidade de enterramento excessiva, evitando assim uma germinação fútil (THOMPSON; GRIME, 1983; BATLLA; KRUK; BENECH-ARNOLD, 2000).

A germinação vigorosa geralmente é caracterizada pela capacidade rápida e eficiente de mobilização de reservas dentro da semente, um processo responsável exclusivamente pelo suprimento de substratos essenciais à respiração até que o embrião

se torne autotrófico (PRITCHARD et al., 2002). Captação de água, dormência de sementes liberada, expansão embrionária, ruptura de revestimento e protrusão radicial são etapas da germinação de sementes, que são determinadas pelo equilíbrio do potencial de crescimento do embrião e pela resistência mecânica dos tecidos de cobertura, como o endosperma e a testa (FINKELSTEIN et al., 2008; RAJJOU et al., 2012; BEWLEY et al., 2013; NONOGAKI, 2014; SHU et al., 2016; NONOGAKI, 2019).

A germinação é um processo complexo durante o qual a semente deve se recuperar rapidamente da secagem natural em razão da maturação, retomar seu metabolismo, completar eventos celulares essenciais para permitir o surgimento do embrião e se preparar para o subsequente crescimento de plântula (NONOGAKI, 2014). Logo após o início da embebição da semente seca, restabelece-se o metabolismo (NONOGAKI, 2014), embora esse também seja ativado em uma semente adormecida e embebida, o término da germinação e a atividade enzimática permanecem bloqueados, conseqüentemente o crescimento do embrião e a mobilização da reserva não prosseguem devido à repressão pelo ABA (RODRÍGUEZ et al., 2015). Aumentos ou modificações da concentração hormonal, especialmente de giberelinas (GAs), permitem a germinação de sementes. A remoção ou desativação do ABA também é importante e a interação entre esse e a GA desempenham um papel regulatório (NONOGAKI, 2014).

Em sementes de cereais, durante a germinação, a GA é produzida pelo embrião, e sua chegada na camada aleurona do endosperma inicia a “quebra” e mobilização de reservas endospermicas armazenadas. De fato, a ativação metabólica e a mobilização de reserva de células do endosperma são os primeiros sinais visíveis de que uma semente passou para a germinação (PENFIELD, 2017). O endosperma responde secretando enzimas que afrouxam a parede celular e enfraquecem as ligações entre as células para facilitar o surgimento da raiz primária. Todos esses eventos estão sob o controle inibitório do fitohormônio ABA em sementes dormentes e são promovidos pela GA na germinação de sementes (NONOGAKI, 2019).

O ABA se acumula e a dormência de semente é iniciada, estabelecida e mantida durante seu desenvolvimento ontogenético, no qual diferentes hormônios afetam esse

processo regulando o equilíbrio ABA/GA nos níveis de biogênese ou de sinalização (SHU et al., 2016).

As plantas desenvolveram uma série de estratégias para regular a germinação de sementes, a fim de garantir o estabelecimento bem-sucedido de plântulas sob diversas condições no ambiente natural (NONOGAKI, 2019). Uma maior compreensão da dormência de sementes em *L. multiflorum*, como ela se desenvolve e evolui, e como pode ser manipulada, pode contribuir muito para a remoção de plantas daninhas dentro de um programa de manejo integrado de plantas daninhas (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012).

### **2.3 Regulação hormonal de dormência e germinação de sementes**

Hormônios vegetais ou fitohormônios atuam como sinais importantes que influenciam os processos de desenvolvimento da semente, como maturação, dormência e germinação (NÉE; XIANG; SOPPE, 2017), desempenham papéis-chave como moléculas sinalizadoras para a comunicação entre os três componentes das sementes (embrião, endosperma e revestimento) (SALEM et al., 2017). As concentrações de hormônios em sementes são determinadas principalmente pelo seu metabolismo - biossíntese e catabolismo (RODRÍGUEZ et al., 2015; NONOGAKI, 2017) e eles funcionam principalmente em combinação, garantindo o equilíbrio hormonal (tanto no metabolismo quanto na sinalização) (NAMBARA et al., 2010).

O principal papel do equilíbrio hormonal na semente é a regulação da atividade de hidrolases necessárias para mobilização de reservas (CHANG; GUPTA; BHAGWAT, 2015) e também de crescimento potencial do embrião para superar a resistência mecânica de camadas do endosperma e testa (BIAN et al., 2018). A dormência da semente é regulada de maneira complexa por redes de fitohormônios e numerosos genes-chave, combinados com diversas informações ambientais (SHUAI et al., 2017). Sabe-se que os fitohormônios ABA e GA estão envolvidos no controle de dormência e germinação (SEO et al., 2006; NAMBARA et al., 2010).

Dentro da semente, o ABA é o hormônio responsável pela indução e manutenção da dormência e pela inibição da germinação (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; ZHAO et al., 2011), sua síntese em plantas ocorre através da clivagem e oxidação de xantofilas (NAMBARA; MARION-POLL, 2005). Seu papel central não é apenas na aquisição de dormência primária durante a maturação de sementes, mas também na manutenção de dormência em sementes embebidas (FINKELSTEIN; GAMPALA; ROCK, 2002; GUBLER; MILLAR; JACOBSEN, 2005; NONOGAKI, 2014; FIDLER; ZDUNEK-ZASTOCKA; BIELAWSKI, 2015;). O hormônio acumulado durante o desenvolvimento de semente e presente na semente seca decresce após a embebição, portanto, é a redução inicial de ABA que pode ser um pré-requisito para que a germinação seja concluída posteriormente (NAMBARA et al., 2010). Em cereais, o pós-amadurecimento não altera o teor de ABA ou o seu metabolismo em grãos secos, no entanto, a situação muda diametralmente quando grãos adormecidos e pós-amadurecidos sofrem embebição (FIDLER; ZDUNEK-ZASTOCKA; BIELAWSKI, 2015). Em sementes embebidas de várias espécies é necessária a síntese contínua de ABA para a manutenção de dormência (ALI-RACHEDI et al., 2004; KUSUMOTO et al., 2006).

Durante a maturação de semente, o ABA endógeno se acumula induzindo e mantendo a dormência e assim impede a germinação prematura (viviparidade); isso permite que o processo de maturação seja sustentado e a semente seja formada (RAJJOU et al., 2012; SHU et al., 2016; NGUYEN et al., 2016). O hormônio é produzido principalmente no endosperma e mantém a dormência através do transporte para o embrião (PENFIELD, 2017). A expressão de enzimas que degradam a parede celular ou o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS) que podem oxidar polissacarídeos da parede são declaradamente considerados regulados pelo ABA e essa é definida como a função crítica desse hormônio para germinação de semente (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; MÜLLER et al., 2009).

Na planta-mãe o balanço ABA/GA determina o destino de uma semente: concentrações endógenas altas de ABA e GA baixo resultam em dormência profunda e emergência baixa, enquanto níveis baixos de ABA e GA altos induzem a germinação pré-colheita (SHU et al., 2016). O ABA promove a dormência de sementes e, portanto, inibe



a germinação, enquanto as GAs liberam a dormência e promovem a germinação de semente. Esses são os principais reguladores hormonais de dormência e germinação de semente e foram bem estudados na última década (WEITBRECHT; MÜLLER; LEUBNER-METZGER, 2011; GRAEBER et al., 2012; SHU et al., 2016; DEKKERS et al., 2016; NÉE; XIANG; SOPPE, 2017; LI; NONOGAKI; BARRERO, 2019; CAO et al., 2019).

Estudos genéticos mostraram que ABA e ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) inibem a síntese um do outro durante a germinação de sementes (SEO et al., 2006; OH et al., 2007; NAMBARA et al., 2010). Outros autores apoiam o fato de que a razão ABA/GA regula a transição metabólica necessária para a liberação da dormência e a germinação de sementes (YAMAGUCHI, 2008; MORRIS et al., 2011; DEKKERS; BENTSINK, 2015; FINCH-SAVAGE; FOOTITT, 2017).

Enquanto que ABA inibe a atividade de hidrolases e impede a germinação (DONG et al., 2012), as giberelinas aceleram a degradação de reservas da semente por meio da atividade aprimorada da  $\alpha$ -amilase (LI et al., 2013; ZHOU et al., 2014). Antes de início do processo de germinação, a concentração endógena de ABA na semente é regulada para baixo, enquanto o conteúdo de GA é regulado para cima com a embebição (SHU et al., 2016). Se os níveis de ABA caírem, o meristema apical de raiz produz GA, que estimula a captação de água, combinada com o afrouxamento/enfraquecimento da parede celular do endosperma e também fornece a força mecânica oposta aos tecidos circundantes para germinação (BEWLEY et al., 2013).

Níveis bioativos de GA são baixos em sementes secas e sua síntese está associada à germinação de sementes (SEO et al., 2006; YAMAGUCHI, 2008). As GAs estimulam a síntese de hidrolases e induzem a atividade gênica responsável pela produção de  $\alpha$ -amilase e proteases necessárias para a mobilização bem-sucedida de reservas (AHMED NIMIR et al., 2014). Esse hormônio é necessário para gerar potencial suficiente de crescimento embrionário para romper o endosperma e testa nos estádios finais de germinação, no entanto, a influência de GA na liberação de dormência em si não é tão aparente (NONOGAKI; BASSEL; BEWLEY, 2010). Embora a GA possa estimular a

germinação de semente dormente em algumas espécies, há muitos casos em que GA sozinha é ineficaz, e tem sido sugerido que GA é necessária, mas não suficiente para a liberação de dormência (FINKELSTEIN et al., 2008).

Descobertas recentes demonstram que outro fitohormônio, a auxina [ácido indolacético (AIA)], também é fundamental para induzir e manter a dormência de sementes e, portanto, pode atuar como um protetor essencial de dormência. AIA pode influenciar à germinação de sementes na presença de ABA (LIU et al., 2013; SHU et al., 2016). Em particular, ABA e AIA regulam positivamente a dormência de sementes de maneira sinérgica (MENG et al., 2017; SHUAI et al., 2017).

A auxina é um dos fitohormônios clássicos eficazes no crescimento de tropismo e a diferenciação tecidual, e atualmente sugere-se que a auxina é o segundo fito-hormônio que induz a dormência das sementes, além do ABA (SHUAI et al. 2017). A aplicação exógena de AIA em *Arabidopsis thaliana* mostrou controlar a dormência de sementes através da sinalização de ABA (PARK et al., 2011) e também aumentou seu acúmulo em espigas de trigo, evitando a germinação na espiga (RAMAIIH; GUEDIRA; PAULSEN, 2003). Concentrações altas de auxina exógena restringiram o desenvolvimento de hipocótilo e meristema radicial de *Nicotiana tabacum* durante a germinação de sementes (LI et al., 2016). Em soja, a auxina exógena reprimiu a germinação impedindo a ruptura do revestimento e protusão de raiz primária (SHUAI et al., 2017).

Outros hormônios como o etileno (LINKIES et al., 2009) e as citocininas (CTKs) (CHIWOCHA et al., 2005; GUAN et al., 2014), também influenciam a germinação por meio de mecanismos de “cross-talk” com ABA/GA. As CTKs promovem a germinação de sementes antagonizando ABA, especificamente pela regulação negativa da transcrição do gene ABI5 (WANG et al., 2011; GUAN et al., 2014).

Holdsworth et al. (2008) propuseram que fatores ambientais influenciam a germinação de sementes regulando a biossíntese e o catabolismo de GA e ABA. Estes hormônios são possíveis alvos para a sinalização ambiental, uma vez que têm sido relatado que hormônios e a sensibilidade de sementes a esses são influenciados por fatores

ambientais (KUCERA et al., 2005; YAMAGUCHI, 2008; NAMBARA et al., 2010). Assim, fatores como a qualidade da luz, temperatura e doadores de óxido nítrico (NO), presentes durante a embebição das sementes, parecem regular o estado de dormência e germinação por meio de alterações no conteúdo de ABA e modificações na expressão de genes que participam de seu metabolismo (FIDLER; ZDUNEK-ZASTOCKA; BIELAWSKI, 2015).

#### **2.4 Sinalização da germinação de sementes por nitrato**

A semente percebe e responde a mudanças de condições ambientais, como temperatura, luz, períodos de armazenamento, teor de umidade e nitrato (DUERMEYER et al., 2018). Assim como as respostas a sinais ambientais, o nitrato parece agir interagindo com o metabolismo de hormônios em sementes (PENFIELD, 2017). Estudos genômicos funcionais em *Arabidopsis* revelaram que o nitrato provoca eventos a jusante similares a outros estimuladores de germinação, o que sugere que esses sinais compartilham o(s) mesmo(s) alvo(s). Dentro da célula, o nitrato funciona como um nutriente e um sinal (DUERMEYER et al., 2018).

O nitrato é conhecido por ser um estimulador de germinação para uma ampla variedade de espécies de plantas (PILL et al., 1991; SHIM et al., 2008; LUNA; MORENO, 2009), promove a germinação de sementes independente de sua assimilação pela nitrato redutase sugerindo que ele atua como um sinal para estimular a germinação (DUERMEYER et al., 2018). Portanto, o sinal de nitrato para a superação de dormência pode ser o próprio nitrato na sua forma não reduzida (BEWLEY et al., 2013). Luna e Moreno (2009) investigaram 53 espécies de plantas e descobriram que o nitrato afeta positiva e negativamente a germinação, dependendo da espécie.

A aplicação de nitrato em sementes, durante a maturação ou após a embebição, promove fortemente a germinação (PENFIELD, 2017), atua não somente durante a germinação, mas também durante o desenvolvimento da semente, para regular negativamente a dormência primária (DUERMEYER et al., 2018). A aplicação de nitrato na planta-mãe reduz o conteúdo de ABA de sementes secas maduras, enquanto a adição

de nitrato ao meio de germinação leva a um declínio mais rápido de ABA em sementes embebidas (LIU et al., 2009; MATAKIADIS et al., 2009).

Vários compostos contendo nitrogênio estimulam a germinação, incluindo gás óxido nítrico (NO), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), presumivelmente por conversão em NO (ALBORESI et al., 2005; BETHKE; LIBOUREL; JONES, 2006). Bethke et al. (2006) propuseram que nitroprussiato de sódio (SNP), nitrato e nitrito liberam a dormência de *A. thaliana* de maneira dependente de NO. A nitrato redutase produz NO a partir do  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NO}_2^-$  (BESSON-BARD; PUGIN; WENDEHENNE, 2008).

Em várias espécies o nitrato reduz a necessidade de luz para a germinação, como em *Lepidium virginicum* (TOOLE et al., 1955), *Arabidopsis thaliana* e *Sisymbrium officinale* (HILHORST; KARSSSEN, 1988; BATAK et al., 2002), *Avena fatua* (HILTON, 1984) e *Paulownia tomentosa* (GRUBIŠIĆ; KONJEVIĆ, 1990). Em alface o nitrato diminui a termoinibição da germinação de sementes (DONG et al., 2012). O tratamento de sementes com um doador de NO, como o SNP ou nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ), resulta na liberação de dormência de *Arabidopsis thaliana*, cevada e trigo (BETHKE et al., 2004; BETHKE; LIBOUREL; JONES, 2006; LIU et al., 2009; JACOBSEN et al., 2013; ARC et al., 2013).

Bethke et al. (2007) sugeriram que as células de aleurona de *Arabidopsis* respondem ao NO, GA e ABA, com o NO sendo a montante do GA em uma via de sinalização. A complexidade de ação do nitrato resulta de sua dupla função como nutriente e sinal (DUERMEYER et al., 2018). Foi descoberto que nas sementes de *Sisymbrium officinale*, o nitrato promove a expansão celular no embrião e induz a ruptura de matriz, o que acelera a absorção de água (TOOROP, 2015).

Outro sinal crítico para que as sementes detectem o ambiente ao redor para germinação, são os componentes de solo. O nitrato é um sinal importante no ambiente de solo para as sementes detectarem brechas na vegetação e germinarem em locais desejáveis com a probabilidade de estabelecimento bem-sucedido de plantas (BEWLEY et al., 2013). Assim, hormônios e compostos de sinalização regulam com precisão a

dormência e a germinação de sementes através de uma rede integrada de interações com o equilíbrio ABA/GA como o nó central.

## 2.5 Banco de sementes do solo

O banco de sementes do solo serve como reservatório de material genético, que permite uma variedade de respostas a condições ambientais e protegem as populações de plantas contra condições ambientais adversas temporárias (TEO-SHERRELL; MORTENSEN; KEATON, 1996). Muitas comunidades de plantas daninhas são reguladas pelo banco de sementes do solo (BUHLER; HARTZLER; FORCELLA, 1997) e sua persistência no sistema é dependente desse (SCHWARTZ-LAZARO; COPES, 2019).

Existem dois tipos gerais de banco de sementes: transitório e persistente (THOMPSON; GRIME, 1979). Um banco de sementes transitório é definido como aquele em que as sementes não vivem até a segunda estação de germinação após a maturação, enquanto as sementes em um banco de sementes persistente vivem até a segunda ou subseqüentes estações de germinação (SCHWARTZ-LAZARO; COPES, 2019).

Em um estudo do banco de sementes de azevém italiano foi descoberto que 4% das sementes enterradas a profundidades de 2 a 15 cm mantiveram a viabilidade após três anos e 0,4% permaneceram após sete anos (RAMPTON; CHING, 1970; RAMPTON; CHING, 1966) logo, *Lolium multiflorum* é considerada uma espécie de banco de sementes persistente. Um período de sobrevivência no solo de até 16 meses já é suficiente para uma liberação considerável de dormência durante o verão e o outono, e garante que o banco de sementes seja reabastecido a cada estação de cultivo, a menos que a produção de sementes seja impedida na nova geração de plantas (SCHWARTZ-LAZARO; COPES, 2019).

No sistema plantio direto as sementes de plantas daninhas concentram-se na superfície do solo, diminuindo de forma logarítmica com o aumento da profundidade, a qual, numericamente 60% de sementes de plantas daninhas encontram-se a um centímetro

da superfície do solo (YENISH et al., 1992). Chauhan et al. (2006) explicam que em *Lolium rigidum* a distribuição de sementes está associada a perturbação do solo, já que onde há perturbação baixa há mais sementes na superfície, enquanto que em solos revolvidos ocorre o enterrio da maior parte das sementes.

O acúmulo de sementes na superfície do solo em sistemas de plantio direto pode aumentar a mortalidade devido ao aumento de sua predação por insetos (CHAUHAN; GILL; PRESTON, 2006; JENSEN, 2010; HOSSAIN; BEGUM, 2015). O enterrio a mais de cinco centímetros da superfície do solo impede a germinação de *Lolium* spp., seja pela falta de variação de temperatura, pela perda de viabilidade de sementes, pelo envelhecimento em condições úmidas ou pela incapacidade do coleóptilo de alcançar a superfície do solo antes que as reservas das sementes se esgotem (ANDREWS et al., 1997; VILA-AIUB et al., 2005; NARWAL; SINDEL; JESSOP, 2008; SINCLAIR; BEALE, 2010).

A sobrevivência de sementes no solo contribui para a persistência de população e a diversidade da comunidade de plantas daninhas (RAJJOU et al., 2012). Plantas daninhas problemáticas na agricultura, como as de *Lolium* devem um pouco de seu sucesso a seus bancos de sementes grandes e inativos, que permitem a germinação durante estações de cultivo (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012).

O banco de sementes pode ser manejado através do aumento da mortalidade de sementes, manipulação da germinação ou emergência de sementes, remoção de plantas daninhas já emergidas ou redução da produção de sementes (SCHWARTZ-LAZARO; COPES, 2019). Portanto, um entendimento da dinâmica do banco de sementes no solo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de manejo de plantas daninhas (KELLMAN, 1978; BUHLER; HARTZLER; FORCELLA, 1997). Neste sentido, foi relatado em modelos de simulação de resistência a herbicidas que o risco de resistência é proporcional ao tamanho do banco de sementes do solo (NEVE et al., 2011; BAGAVATHIANNAN et al., 2013).

Se o banco anual de sementes de plantas daninhas em um campo de cultivo pudesse ser estimulado a germinar cedo (isto é, antes da semeadura) e de forma síncrona, as plantas daninhas seriam mais facilmente controladas (GOGGIN; POWLES, 2014). O estímulo de germinação, para controle de uma quantidade maior de plantas e assim promover o esgotamento do banco de sementes é uma opção promissora. Alguns compostos estimulam a germinação de sementes, como as karrikinas (MENG et al., 2017) e GA<sub>3</sub> (METZGER, 1983), mas nenhum deles avançou para a prática comercial, pois seu uso exigiria técnicas subsequentes de controle de plantas daninhas, como aplicação de herbicida, para remover as plantas daninhas germinadas.

Métodos alternativos de esgotamento do banco de sementes de plantas daninhas podem ser alcançados visando vários estádios do ciclo de vida das plantas: impedindo a floração e/ou a formação da semente, remoção de inflorescências antes que as sementes sejam dispersadas, tornando sementes maduras não viáveis e manipulando a germinação, para que seja impedida ou ocorra de forma uniforme no momento apropriado para remoção eficiente de plantas daninhas. Esses métodos individuais podem não ser tão eficazes quanto o cultivo do solo, mas podem ser incorporados a um sistema integrado de manejo de banco de sementes sob condições de plantio direto (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012; SCHWARTZ-LAZARO; COPES, 2019).

Estudos indicaram que o banco de sementes pode ser reduzido em pelo menos 90% dentro de quatro anos se nenhuma ou pouca semente retornar ao solo (ROBERTS, 1968; SCHWEIZER; ZIMDAHL, 1984). A aplicação de herbicidas no florescimento ou maturação da semente pode reduzir o potencial de reabastecimento do banco de sementes e vários estudos já comprovaram isso (BENNETT; SHAW, 2000; CLAY; GRIFFIN, 2000; HARTZLER; BATTLES, 2001; BREWER; OLIVER, 2007; WALKER; OLIVER, 2008; JHA; NORSWORTHY, 2012). Norsworthy et al. (2012) listaram práticas que podem ser implementadas no sistema plantio direto para redução do reabastecimento do banco de semente e manejo de plantas daninhas resistentes a herbicidas, são as “Best Management Practices and Recommendation” (BMPs).

## 2.6 Melhores práticas e recomendações de manejo de plantas daninhas (BMPs)

Para as plantas daninhas anuais, a produção de sementes e a persistência do banco de sementes são de grande importância para o crescimento populacional em relação as plantas daninhas bienais ou perenes. Os herbicidas são a base do controle de plantas daninhas em sistemas de produção agrícola. No entanto, as populações de plantas daninhas resistentes a herbicidas estão evoluindo rapidamente como uma resposta natural à pressão de seleção imposta pelas atividades modernas de manejo agrícola (NORSWORTHY et al., 2012; HEAP, 2020). A mitigação da evolução da resistência a herbicidas depende da redução da seleção por meio da diversificação de técnicas de controle de plantas daninhas, minimizando a disseminação de genes e genótipos de resistência via dispersão de pólen ou propágulo e eliminando adições de sementes de plantas daninhas ao banco de sementes do solo (NORSWORTHY et al., 2012). Essa resposta em plantas daninhas foi prevista por Harper (1957), quando afirmou, “a intensidade de seleção mais eficaz é a que reduz uma população a um pequeno resíduo resistente, capaz de reprodução rápida”.

Os programas para manejo de resistência a herbicidas devem considerar o uso de opções disponíveis para controle eficaz de plantas daninhas em cada situação e empregar as BMPs: Entender a biologia da planta daninha, usar uma abordagem diversificada em direção ao seu manejo com foco na prevenção da produção de sementes e na redução do número de sementes depositadas no solo e gerenciar as sementes de plantas daninhas para evitar o acúmulo no banco de sementes, são algumas das práticas (NORSWORTHY et al., 2012).

Os produtores precisam ser informados que os mecanismos de ação herbicidas são limitados e estar cientes de que a descoberta de novos é rara, que o recurso existente de moléculas herbicidas é esgotável e que o seu uso indiscriminado leva à rápida evolução da resistência em plantas daninhas (WESTWOOD et al., 2018). Aplicações de herbicidas que eliminam plantas daninhas suscetíveis antes da reprodução criam uma vantagem seletiva para qualquer indivíduo raro e resistente na população de plantas daninhas (NORSWORTHY et al., 2012). A reprodução dessas “fugitivas” transmite a característica



de resistência aos seus descendentes, facilitando sua sobrevivência quando expostas ao mesmo mecanismo de ação herbicida. Estratégias que eliminem as adições de sementes de plantas daninhas ao banco de sementes do solo serão particularmente eficazes (COBLE; MORTENSEN, 1992).

### **BMP 1 - Compreender a biologia de plantas daninhas**

A compreensão da biologia de plantas daninhas nos sistemas atuais de manejo de plantas daninhas, com ênfase na redução do banco de sementes do solo, é fundamental (WALSH; POWLES, 2007). Ao entender os padrões de emergência, a duração de estádios de desenvolvimento, a fecundidade, mecanismos de dispersão e a persistência de sementes de plantas daninhas no banco de sementes do solo, os profissionais podem elaborar estratégias que atinjam os estádios da vida mais sensíveis ao manejo. Compreender se há diferenças de dormência e germinação entre biótipos resistente e sensível a herbicida, é fundamental para saber em que momento da estação de crescimento as plantas daninhas têm maior probabilidade de surgir e quanto tempo as medidas de controle de plantas daninhas devem ser mantidas para fornecer um controle efetivo (NORSWORTHY et al., 2012).

### **BMP 2 - Use uma abordagem focada na redução da produção de sementes viáveis e no número de sementes de plantas daninhas no banco de sementes do solo**

Para que um sistema de produção permaneça sustentável, o banco de sementes de plantas daninhas deve ser estático ou em declínio (BAGAVATHIANNAN; NORSWORTHY, 2012). Além disso, o risco da evolução de resistência mostra-se associado positivamente ao tamanho inicial do banco de sementes (NEVE et al., 2011), portanto, manter o banco de sementes do solo em níveis baixos reduz o risco de evolução futura da resistência a herbicidas. A erradicação dos bancos de sementes de plantas daninhas é uma meta que os produtores tentaram alcançar e falharam ao longo da história. O maior desafio envolve a praticidade de impedir o retorno de sementes em grandes áreas de terra que contêm bancos de sementes repletos de sementes de plantas

daninhas dormentes e muitas vezes de longa duração (BUHLER; HARTZLER; FORCELLA, 1997).

O banco de sementes do solo pode ser efetivamente reduzido através da prevenção da produção de sementes de plantas daninhas e da redução da fração germinável de sementes no solo por meio de técnicas específicas, em vários estádios do ciclo de vida das plantas, como por exemplo: impedindo a floração e/ou redução da fecundidade (BAGAVATHIANNAN; NORSWORTHY, 2012), bloqueio da translocação de fotoassimilados para a semente (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012), aumento da mortalidade da semente e redução do número de sementes viáveis produzidas (SCHWARTZ-LAZARO; COPES, 2019). O uso de herbicidas com potencial de reduzir a produção e a qualidade de sementes de azevém é uma prática que pode contribuir na redução de incidência de biótipos de azevém resistente e, conseqüentemente, também do banco de sementes do solo. O estágio de desenvolvimento escolhido para aplicação e o produto a ser aplicado podem comprometer parâmetros produtivos e o potencial fisiológico de sementes de plantas daninhas (BENNETT; SHAW, 2000; CLAY; GRIFFIN, 2000; KRENCHINSKI et al., 2017).

Mesmo que aumente os custos de manejo a curto prazo, é fundamental evitar o reabastecimento do banco de sementes, para mitigar a evolução da resistência a herbicidas. Considerando os custos de longo prazo associados ao gerenciamento futuro da resistência, essas despesas de curto prazo ainda são economicamente viáveis (NORSWORTHY; KORRES; BAGAVATHIANNAN, 2018).

Técnicas agronômicas que estimulem a germinação uniforme ou impeçam o estabelecimento de plântulas podem ajudar a esgotar o banco de sementes de plantas daninhas. O atraso da germinação de plantas daninhas pode ser uma estratégia importante nos campos de cultivo, visando o uso de competitividade das culturas, já o estímulo, promove o declínio pela germinação de maior quantidade de plantas daninhas, para o controle químico em um momento posterior mais adequado (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012).

### 3 CAPÍTULO I

Redução do potencial de ressemeadura natural de *Lolium multiflorum* com aplicação de herbicidas e reguladores de crescimento em estádios reprodutivos da planta

#### 3.1 Resumo

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) é uma das principais plantas daninhas de cultivos de inverno do sul do Brasil. Competitividade alta, adaptabilidade, resistência generalizada a herbicidas e dormência de sementes fazem da planta um problema permanente. As sementes apresentam dormência e germinam escalonadamente tornando árdua a eliminação da planta daninha da área, pois o banco de sementes é reabastecido constantemente. Herbicidas, assim como reguladores de crescimento podem ser usados como uma opção de manejo de produção de sementes de azevém, no entanto não há consenso entre autores em qual estágio da planta a aplicação é mais efetiva. Assim, este estudo objetivou avaliar a produção e a qualidade fisiológica de sementes de azevém, em resposta à aplicação de herbicidas e reguladores de crescimento vegetal, em três estádios de desenvolvimento de planta (50% do espigamento, início de florescimento e grão leitoso). Cada tratamento consistiu da aplicação de duas diferentes doses de cada um dos princípios ativos: cletodim, glifosato, glufosinato de amônio, iodosulfurom-metilico, paraquate, s-metolacoloro e 2,4-D (herbicidas); etefom e trinexapaque-etílico (reguladores de crescimento), ainda uma testemunha, sem tratamento, totalizando 19 tratamentos para cada estágio de desenvolvimento. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três repetições. As variáveis avaliadas foram: produção de sementes (kg/ha), peso de mil sementes (PMS) (g), viabilidade (%), porcentagem de germinação (PG) (%), vigor (%), sementes dormentes (%) e mortas (%). A produção de sementes de azevém reduziu 100% com cletodim, glifosato, glufosinato de amônio ou paraquate aplicados nos estádios de espigamento ou florescimento. No estágio de grão leitoso, todos os tratamentos (herbicidas e reguladores de crescimento) causam efeitos deletérios à produção de sementes, o efeito maior ocorreu com paraquate (95%). Paraquate, glufosinato de amônio e cletodim afetaram a qualidade fisiológica das sementes quando aplicados em estágio de grão leitoso. Esta pesquisa demonstrou que a aplicação de herbicidas em estágio reprodutivo de azevém diminui sua reposição no banco de sementes (ressemeadura natural), com potencial de prejudicar sua progênie.

Palavras-chave: 1. Azevém. 2. Planta daninha. 3. Banco de sementes. 4. Aplicação tardia. 5. Manejo de plantas daninhas.

### 3.2 Introdução

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), também conhecido como azevém italiano, caracteriza-se como uma importante e problemática planta daninha de regiões de clima temperado e subtropical do mundo. O azevém compete intensamente por recursos do meio em cultivos de trigo, aveia ou cevada, principalmente em função de suas semelhanças morfofisiológicas de desenvolvimento, como altura de planta e arquitetura de dossel, uma vez que pertence à mesma família botânica (AGOSTINETTO et al., 2017).

A competição reduz a produção e qualidade de sementes na cultura infestada. A presença de azevém em cultivos de trigo e cevada foram relatados com perdas em muitos países do mundo como Dinamarca (OLSEN; KRISTENSEN; WEINER, 2006), Estados Unidos (BARARPOUR et al., 2020), Egito (EL-ROKIEK; EL-AWADY; EL-WAHED, 2012), Argentina (SCURSONI et al., 2012) e Japão (SUZUKI, 2007). Em avaliações em área de trigo infestada com azevém, observaram-se reduções de 20 a 30% no rendimento (SCURSONI et al., 2012), podendo chegar a uma taxa de até 92% (HASHEM; RADOSEVICH; ROUSH, 1998).

O manejo químico de plantas daninhas em plantio direto tornou-se uma discussão inevitável na agricultura, principalmente em relação ao potencial de seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas (NORSWORTHY et al., 2012; WESTWOOD et al., 2018). Plantas daninhas da família Poaceae são geneticamente diversas, com sistemas de reprodução que facilitam à adaptação rápida e que pode levar à seleção de biótipos resistentes a herbicidas (LAVERGNE; MOLOFSKY, 2007; BRUTNELL et al., 2015; JABRAN et al., 2017). Entre as ações para reduzir o risco de resistência, está a supressão de novas adições de sementes de plantas daninhas ao banco de sementes do solo, com foco na prevenção de sua produção (NORSWORTHY et al., 2012).

O “banco de sementes” do solo promove a persistência de plantas daninhas, servindo como “reservatórios de sementes” (GALLANDT, 2006). Métodos alternativos de esgotamento de bancos de sementes de plantas daninhas podem ser adotados em vários estádios do ciclo de vida de plantas, como por exemplo, impedir a floração e/ou a

formação de estruturas essenciais da semente, redução de produção e aumento de mortalidade dessa e, assim, evitar a adição de novos propágulos no solo (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012; SCHWARTZ-LAZARO; COPEL, 2019).

Algumas plantas daninhas são capazes de produzir um número grande de sementes em um único ciclo de vida, resultando em infestações em anos subsequentes. O azevém pode produzir 45.000 sementes por m<sup>2</sup> e mais do que 36.000 sementes por planta em lavouras de trigo infestadas (BARARPOUR et al., 2017). O êxito de espécies daninhas anuais em sistemas de cultivo tem relação com a capacidade de germinar em altas taxas e a longevidade da semente (GUNDEL et al., 2008). A germinação de sementes de azevém inicia e se intensifica no período de inverno, com a geração de vários fluxos de emergência de plantas (RECASENS et al., 2007; MAIA et al., 2008; GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012; BEWLEY et al., 2013).

O uso de herbicidas com potencial de reduzir a produção e a qualidade de sementes de azevém é uma prática que pode contribuir na redução de frequência de biótipos de azevém resistente e, conseqüentemente, também do banco de sementes do solo (BAGAVATHIANNAN; NORSWORTHY, 2012; SCHWARTZ-LAZARO; COPEL, 2019). O estágio de desenvolvimento de planta e o produto a ser aplicado podem comprometer parâmetros produtivos e o potencial fisiológico de sementes de plantas daninhas (BENNETT; SHAW, 2000; CLAY; GRIFFIN, 2000; KRENCHINSKI et al., 2017).

Semente viável é aquela capaz de produzir uma plântula normal em um teste de germinação, sob condições favoráveis, após superada a dormência (BRASIL, 2009). A aplicação de herbicidas em estádios iniciais de desenvolvimento reprodutivo tem sido eficaz no enfraquecimento de sementes de plantas daninhas e na minimização de retorno de sementes ao banco de sementes do solo (STEADMAN et al., 2006, WALKER; OLIVER, 2008). Em particular, pesquisas anteriores demonstraram que a aplicação de herbicidas durante os estádios reprodutivos aumenta o aborto de flores e frutos e reduz a qualidade e a viabilidade das sementes que podem ser formadas (CLAY; GRIFFIN, 2000; NURSE; DARBYSHIRE; SIMARD, 2015).

Aplicações tardias de herbicidas para dessecação de plantas daninhas também oferecem oportunidades potenciais para minimizar a produção de sementes viáveis. Diversos produtos químicos aplicados em estádios de desenvolvimento reprodutivo podem diminuir ou impedir a produção de sementes viáveis de plantas daninhas (BENNET; SHAW, 2000; STEADMAN et al., 2006). O bloqueio que impede a maturação de sementes ocorre principalmente devido à interrupção na fotossíntese e de transporte de fotoassimilados para semente, não permitindo que as mesmas concluam o processo (BENNETT; SHAW, 2000; JOHNSON; NORSWORTHY, 2014), isso resulta em uma incidência maior de sementes pequenas, imaturas e malformadas.

*Lolium rigidum* é a principal planta daninha de cultivos de inverno da Austrália (JONES et al., 2005), reconhecida pela rápida evolução de resistência a herbicidas (BOUTSALIS; GILL; PRESTON, 2012) e por desenvolver resistência múltipla (sete mecanismos de ação) (HEAP, 2020). Steadman et al. (2006) avaliaram o efeito de aplicações de herbicidas não seletivos na maturação de *L. rigidum* e observaram reduções na produção e qualidade fisiológica de sementes, com eficácia diferenciada quanto aos herbicidas nos estádios de aplicação. A espécie presente no Brasil é o *L. multiflorum* que pertence a mesma família e gênero que *L. rigidum*.

Pesquisas anteriores avaliaram a produção de sementes da azevém com aplicação de glifosato, glufosinato e paraquate, mas faltam estudos comparando-os com outros princípios ativos. Este trabalho além de testar os três mencionados, aborda a aplicação de produtos não testados como cletodim, iodosulfurom-metílico e reguladores de crescimento em três estádios de desenvolvimento reprodutivo de azevém. Além disso, o impacto de aplicações desses produtos no espigamento, florescimento e maturação na produção e qualidade fisiológica de sementes de azevém foi pouco estudado. Importante destacar também que existem poucas informações relacionadas à dose de aplicação, em nosso estudo foram testadas duas doses (dose reduzida e dose recomendada).

Nessas premissas, o estudo de efeitos da aplicação de herbicida ou reguladores de crescimento em diferentes estádios de desenvolvimento de azevém pode ser determinante na adoção de estratégias para um controle mais eficiente de ressemeadura natural desta

planta daninha. Assim, este estudo objetivou avaliar a produção e a qualidade fisiológica de sementes de azevém, em resposta à aplicação de herbicidas e reguladores de crescimento vegetal, em três estádios reprodutivos da planta.

### 3.3 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em campo localizado na Área 2 da Embrapa Trigo, em Coxilha/RS (Figura 1). A área situa-se na latitude 28° 10' 58'' S e longitude 52° 19' 39'' W, com altitude média de 721 m, precipitação média anual de 1.803 mm e temperatura média anual de 17,7°C. O clima da região é, pela classificação de Koppen, como Cfa, ou seja, subtropical úmido. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico húmico.

Figura 1 - Localização da área experimental (esquerda), e pontos (x) marcados no mapa indicando os blocos do experimento (direita). Coxilha/RS, 2019



Fonte: Figura construída pelo autor.

Cada parcela (unidade experimental - UE) mediu 5x5 m (25 m<sup>2</sup>), com infestação natural de plantas de azevém, oriundas do banco de sementes do solo. As plantas cobriam o solo completamente, sem lacunas para outras plantas. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos consistiram de sete herbicidas e dois reguladores de crescimento vegetal, cada um em duas doses de princípio ativo

(dose reduzida e dose recomendada para aqueles com recomendação e doses equivalentes para os sem recomendação) (Tabela 1) aplicados sobre o azevém, em três estádios de desenvolvimento conforme a escala fenológica descrita por Hess et al. (1997): 5 - Emergência da inflorescência (50% do espigamento); 6 - Florescimento (início do florescimento); 7 - Desenvolvimento do fruto (cariopse/grão leitoso). Cada estágio foi considerado como um experimento, sendo analisado separadamente. Uma testemunha sem aplicação de herbicida foi adicionada para cada um dos momentos de aplicação.

Para uniformizar o estande de plantas em um estágio de crescimento realizou-se uma roçada mecânica seccionando-as e permitindo um remanescente de aproximadamente 30 cm. Os tratamentos foram aplicados quando 75% de plantas de cada UE atingiram os três estádios de desenvolvimento previamente descritos.

Tabela 1 - Tratamentos com herbicidas ou regulador de crescimento vegetal, cada um em duas doses de princípio ativo, aplicados em azevém, em três estádios de desenvolvimento de planta (50% do espigamento, início de florescimento e grão leitoso). Passo Fundo/RS, 2019

Tratamento	Produto comercial	Dose <sup>1</sup>
		g/ha
Testemunha	-	-
Cletodim	Poquer	54
Cletodim	Poquer	108
Glifosato	Glifosato	360
Glifosato	Glifosato	720
Glufosinato de amônio	Finale	200
Glufosinato de amônio	Finale	400
Iodosulfurom-metílico	Hussar	2,5
Iodosulfurom-metílico	Hussar	5
Paraquate	Gramoxone	200
Paraquate	Gramoxone	400
S-metolacoloro	Dual Gold	720
S-metolacoloro	Dual Gold	1440
2,4-D	2,4-D	670
2,4-D	2,4-D	1340
Etefom <sup>2</sup>	Ethrel	360
Etefom <sup>2</sup>	Ethrel	720
Trinexapaque-etílico <sup>2</sup>	Moddus	200
Trinexapaque-etílico <sup>2</sup>	Moddus	400

<sup>1</sup> g/L ou g/kg de ingrediente ativo ou equivalente ácido.

<sup>2</sup> Regulador de crescimento vegetal.



Para a aplicação dos tratamentos foi utilizado pulverizador costal, pressurizado com CO<sub>2</sub>, equipado com barra de pulverização munida de seis pontas de jato plano tipo XR 11002 VS, com pressão de 2 Bar, que gerou volume de calda de 150 L/ha. A altura de barra foi de 50 cm acima do alvo. Durante a aplicação as condições ambientais foram de temperatura de 25°C, umidade relativa do ar de 60% e velocidade do vento abaixo de 7 km.h<sup>-1</sup>.

De cada UE foram colhidas 1 m<sup>2</sup> de espigas de azevém, esta realizada quando as sementes atingiam a maturação (grão duro e/ou palha seca). Após a colheita, as espigas foram trilhadas, em ceifeira-debulhadora de parcelas (Wintersteiger), e as sementes foram armazenadas em sacos de papel em condições ambiente até as avaliações, as quais foram: produção de sementes (kg/ha), peso de mil sementes (PMS) (g), viabilidade (%), porcentagem de germinação (%), vigor (%), sementes dormentes (%) e mortas (%), conforme descritas nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009).

As amostras foram pesadas em balança de quatro dígitos, obtendo-se assim, o peso da amostra em g/m<sup>2</sup> e ajustado para kg/ha. O PMS foi obtido seguindo-se as orientações da RAS (BRASIL, 2009).

O teste de germinação foi realizado para avaliar a qualidade fisiológica das sementes de azevém, para o qual 50 sementes foram distribuídas sobre duas folhas de papel filtro, contidas em placas de Petri, umedecidas com 2,5 vezes seu peso com água. As placas foram transferidas para um germinador de sementes (Mangelsdorf, DeLeo) em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, sob um fotoperíodo de luz de 12 horas a 20°C. A porcentagem de germinação (plântulas normais) foi determinada aos 14 dias após a semeadura no papel.

Juntamente com o teste de germinação foi realizada a primeira contagem de germinação, cinco dias após a semeadura, para determinar o vigor de sementes (MARCOS FILHO, 2015). Ao final do teste de germinação foram contados o número de sementes mortas e dormentes e os resultados também foram expressos em porcentagem.

Por fim, no teste de germinação, as sementes consideradas dormentes (“duras” na compressão suave com uma pinça) foram avaliadas também pelo teste de tetrazólio (TZ), para confirmação de sua viabilidade conforme descrito por Brasil (2009); assim, sementes viáveis pelo TZ foram consideradas dormentes e a porcentagem de sementes não viáveis foram adicionadas à porcentagem de sementes mortas.

A viabilidade das sementes de azevém foi avaliada pelo TZ. O TZ é um teste bioquímico que determina a porcentagem de sementes viáveis com base na atividade de enzimas desidrogenase, independentemente de incidência de dormência da semente (SOARES et al., 2016). Primeiramente as sementes foram imergidas em água destilada por 16 horas a 20°C. Em seguida, as sementes foram cortadas longitudinalmente do embrião a  $\frac{3}{4}$  do endosperma e transferidas para uma solução de coloração (0,5% do sal 2, 3, 5 trifenil cloreto de tetrazólio), em estufa a 30°C por quatro horas. Para a avaliação, as superfícies seccionadas foram observadas em estereomicroscópio (Tecnival 35x). Foi considerada viável a semente que possuía o embrião com coloração avermelhada a rósea (BRASIL, 2009).

Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando constatada significância, as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro, pelo software RStudio (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

### **3.4 Resultados e Discussão**

A produção e qualidade de sementes em resposta a herbicidas ou reguladores de crescimento aplicados no espigamento de azevém (primeiro estágio testado) está apresentada na Tabela 2. Diferenças significativas entre os tratamentos foram constatadas apenas para produção de sementes, viabilidade, sementes dormentes e sementes mortas de azevém neste estágio de desenvolvimento (Apêndice I).

Vários tratamentos reduziram significativamente a produção de sementes de azevém (Tabela 2). Cletodim, glifosato, glufosinato de amônio, iodosulfurom-metílico e

paraquate, independente da dose avaliada, reduziram em 100% a produção de sementes. Redução próxima a 85% foi observada com etefom (720 g/ha). Já 2,4-D, s-metolacloro e trinexapaque-etílico, independente da dose, e etefom (360 g/ha), mostraram resultados semelhantes à testemunha (sem aplicação) (Tabela 2).

O princípio central de gerenciamento de bancos de sementes de plantas daninhas é reduzir a produção de suas sementes (DAVIS, 2006; WALSH et al., 2013). Com este intuito, para controle de *Amaranthus palmeri*, Jha e Norsworthy (2012) utilizaram glufosinato de amônio no início do aparecimento da inflorescência, com resultados similares aos observados neste trabalho, onde reduções de 78 a 95% na produção de sementes foram constatadas. Em outro estudo, o glifosato aplicado no mesmo estágio impediu completamente a produção de sementes de *Lolium rigidum* Gaud. (STEADMAN et al., 2006); já em trabalho realizado por Kleemann et al. (2016), foi observado que cletodim, seguido de plantas de cobertura, proporcionou controle eficiente e houve declínio no banco de sementes da planta daninha. Em *Sorghum halepense*, glifosato (420 e 840 g/ha), cletodim (68 e 136 g/ha) e glufosinato (740 g/ha) no estágio de emborrachamento, reduziram a produção de sementes em 94 a 99% (JOHNSON; NORSWORTHY, 2014).

No trabalho de Christoffoleti et al. (2005) com azevém, cletodim (96 g/ha) e paraquate + diuron (300 + 150 g/ha), aplicados no pré-florescimento, proporcionaram controle acima de 90%. Herbicidas como o paraquate podem diminuir o rendimento de sementes, por inibir rapidamente a fotossíntese, ou comprometer o transporte de fotoassimilados para as mesmas (PEREIRA et al., 2015). Em *Ambrosia trifida* e *A. artemisiifolia* a aplicação de glufosinato de amônio e glifosato, respectivamente, no início do aparecimento das inflorescências, também resultaram em redução na produção de sementes de 78% e 80%, respectivamente (BAE et al., 2017; GANIE et al., 2018).

Tabela 2 - Produção e qualidade de sementes de azevém em resposta a aplicação de doses de herbicidas ou reguladores de crescimento no estádio de emergência da inflorescência (50% do processo de espigamento). Passo Fundo/RS, 2019

Tratamento	Dose <sup>1</sup>	Produção de sementes	PMS	Viabilidade <sup>3</sup>		Teste de Germinação (%)			
	g/ha			kg/ha	g	%	V	G	D
Testemunha	-	580,4 a	1,94 ns	77 a	68 ns	69 ns	11 b	20 b	
2,4-D	1340	589,7 a	1,97	82 a	71	74	17 a	9 b	
2,4-D	670	566,1 a	2,04	81 a	64	68	13 b	19 b	
S-metolaclo	720	555,9 a	2,02	84 a	56	62	8 b	30 a	
Etefom <sup>2</sup>	360	544,2 a	2,02	83 a	67	70	13 b	17 b	
S-metolaclo	1440	505,0 a	2,02	65 b	59	61	8 b	31 a	
Trinexapaque-etílico <sup>2</sup>	200	438,2 a	1,97	75 b	71	73	14 b	13 b	
Trinexapaque-etílico <sup>2</sup>	400	434,4 a	1,97	74 b	55	61	23 a	16 b	
Etefom <sup>2</sup>	720	77,2 b	1,69	79 a	63	73	10 b	17 b	
Cletodim	54	0 b	-	-	-	-	-	-	
Cletodim	108	0 b	-	-	-	-	-	-	
Glifosato	360	0 b	-	-	-	-	-	-	
Glifosato	720	0 b	-	-	-	-	-	-	
Glufosinato de amônio	200	0 b	-	-	-	-	-	-	
Glufosinato de amônio	400	0 b	-	-	-	-	-	-	
Iodosulfurom-metílico	2,5	0 b	-	-	-	-	-	-	
Iodosulfurom-metílico	5	0 b	-	-	-	-	-	-	
Paraquate	200	0 b	-	-	-	-	-	-	
Paraquate	400	0 b	-	-	-	-	-	-	

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott Knott ( $p < 0,05$ ).

Vigor (V), Porcentagem de germinação (G), Sementes dormentes (D) e Sementes mortas (M).

<sup>1</sup> g/L ou g/kg de ingrediente ativo ou equivalente ácido.

<sup>2</sup> Regulador de crescimento vegetal.

<sup>3</sup> Avaliação por teste de tetrazólio (TZ).

A viabilidade de sementes de azevém foi reduzida, nas aplicações de s-metolacoloro (1440 g/ha) e trinexapaque-etílico (200 e 400 g/ha). A porcentagem de sementes dormentes aumentou com 2,4-D (1340 g/ha) e trinexapaque-etílico (400 g/ha) aplicados em estágio de espigamento e s-metolacoloro, independente da dose, aumentou o número de sementes mortas de azevém, em relação a testemunha (Tabela 2).

O segundo estágio de desenvolvimento avaliado neste trabalho foi o florescimento (Tabela 3). A análise de variância para este estágio indicou diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis avaliadas (Apêndice II). A produção de sementes nas parcelas que receberam os tratamentos etefom (360 e 720 g/ha), s-metolacoloro (720 g/ha e 1440 g/ha) e 2,4-D (670 g/ha) foi superior àquela obtida na testemunha. Resultados de produção de sementes semelhante à testemunha foram obtidos com a aplicação de 2,4-D (1340 g/ha) e trinexapaque-etílico (200 e 400 g/ha). Os tratamentos com cletodim, glufosinato de amônio, paraquate e glifosato proporcionaram redução total na produção de sementes de azevém e iodosulfurom-metílico provocou reduções superiores a 90% (Tabela 3). No florescimento de azevém, os produtos afetaram diretamente o aparelho reprodutor pois as anteras são extrudadas da espiguetta.

Em outro estudo semelhante a produção de sementes de *Avena fatua* foi impedida completamente com glifosato (880 g/ha) aplicado na antese (SHUMA et al., 1995). As reduções máximas de rendimento de sementes (100%) ocorridas neste estudo também foram com glifosato (360 e 720 g/ha), mas em adicional outros herbicidas também impediram completamente a produção de sementes em início do estágio de florescimento, o paraquate (200 e 400 g/ha), glufosinato de amônio (200 e 400 g/ha) e cletodim (54 e 108 g/ha). Iodosulfurom-metílico provocou reduções de 93 e 95% para produção de sementes (2,5 e 5 g/ha, respectivamente) quando aplicado no florescimento (Tabela 3). Kumar e Jha (2015) observaram que a aplicação de glifosato, glufosinato ou paraquate no início de floração reduziu em 99% a produção de semente de *Kochia scoparia* (L.) Schrad.

Tabela 3 - Produção e qualidade de sementes de azevém em resposta a aplicação de doses de herbicidas ou reguladores de crescimento no estádio de florescimento (início do florescimento). Passo Fundo/RS, 2019

Tratamento	Dose <sup>1</sup>	Produção de sementes	PMS	Viabilidade <sup>3</sup>	Teste de Germinação (%)		
	g/ha	kg/ha	g	%	V	G	M
S-metolacolor	720	697,1 a	2,15 a	84 a	61 b	69 a	17 a
Etefom <sup>2</sup>	360	587,4 a	2,13 a	90 a	67 a	77 a	13 b
2,4-D	670	561,6 a	2,03 a	97 a	70 a	76 a	9 b
S-metolacolor	1440	509,4 a	2,26 a	86 a	74 a	86 a	9 b
Etefom <sup>2</sup>	720	506,5 a	2,40 a	77 b	76 a	80 a	9 b
Trinexapaque-etílico <sup>2</sup>	400	445,0 b	1,81 b	84 a	60 b	66 b	21 a
Testemunha	-	414,4 b	2,27 a	91 a	70 a	74 a	8 b
Trinexapaque-etílico <sup>2</sup>	200	380,4 b	2,03 a	75 b	61 b	70 a	20 a
2,4-D	1340	358,7 b	2,19 a	85 a	72 a	79 a	13 b
Iodosulfurom-metílico	2,5	27,1 c	1,75 b	81 a	54 b	63 b	13 b
Iodosulfurom-metílico	5	20,7 c	1,66 b	67 b	43 b	49 c	19 a
Cletodim	54	0 c	-	-	-	-	-
Cletodim	108	0 c	-	-	-	-	-
Glifosato	360	0 c	-	-	-	-	-
Glifosato	720	0 c	-	-	-	-	-
Glufosinato de amônio	200	0 c	-	-	-	-	-
Glufosinato de amônio	400	0 c	-	-	-	-	-
Paraquate	200	0 c	-	-	-	-	-
Paraquate	400	0 c	-	-	-	-	-

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott Knott ( $p < 0,05$ ).

Vigor (V), Porcentagem de germinação (G), Sementes dormentes (D) e Sementes mortas (M).

<sup>1</sup> g/L ou g/kg de ingrediente ativo ou equivalente ácido.

<sup>2</sup> Regulador de crescimento vegetal.

<sup>3</sup> Avaliação por teste de tetrazólio (TZ).

Vários outros estudos também relataram que uma única aplicação de glifosato, 2,4-D, dicamba ou glufosinato na floração e nos estádios iniciais do desenvolvimento de sementes de *Abutilon theophrast*, *Setaria faberi*, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus palmeri*, *Senna obtusifolia*, *Ipomoea lacunosa*, *Sida spinosa* e *Echinochloa crus-galli* resultaram em redução de 83% a 99% na produção de sementes (BINIAK; ALDRICH, 1986; FAWCETT; SLIFE, 1978; TAYLOR; OLIVER, 1997; WALKER; OLIVER, 2008).

Os resultados deste trabalho demonstram que, uma aplicação de herbicida no período de florescimento de azevém pode ser útil para reduzir o reabastecimento de sementes e, assim, reduzir a evolução de resistência a herbicidas.

O PMS foi reduzido significativamente com o herbicida iodosulfurom-metílico e o regulador trinexapaque-etílico em relação à testemunha, com reduções de 23% na dose de 2,5 g/ha e 27% na dose 5 g/ha de iodosulfurom-metílico e 20% de redução para trinexapaque-etílico na dose de 400 g/ha, quando aplicado no florescimento. Os demais tratamentos apresentaram resultados semelhantes à testemunha (Tabela 3).

A viabilidade de sementes produzidas foi realizada pelo TZ, o qual indicou que o herbicida iodosulfurom-metílico, na dose de 5 g/ha, reduziu a viabilidade de sementes em 24% e os reguladores trinexapaque-etílico (200 g/ha) e etefom (720 g/ha), em 16 e 14%, respectivamente. A aplicação de herbicida na floração ou no início da formação da semente tem o potencial de diminuir a produção de sementes viáveis de plantas daninhas, permitindo eventualmente o esgotamento do banco de sementes do solo (TAYLOR; OLIVER, 1997; BENNETT; SHAW, 2000; WALKER; OLIVER, 2008; JHA; NORSWORTHY, 2012).

No teste de germinação, iodosulfurom-metílico reduziu a germinação e vigor em 11 e 16% na dose de 2,5 g/ha e em 25 e 27% na dose de 5 g/ha, respectivamente. Trinexapaque-etílico (200 g/ha) reduziu o vigor e trinexapaque-etílico (400 g/ha) reduziu a germinação em relação a testemunha. O número de sementes dormentes aumentou quando aplidado trinexapaque-etílico (200 e 400 g/ha), s-metolacloro (720 g/ha) e

iodosulfurom-metílico (5 g/ha) em estágio de florescimento. A mortalidade (M) de sementes aumentou somente com a aplicação de iodosulfurom-metílico (2,5 e 5 g/ha) em relação a testemunha (sem aplicação) (Tabela 3).

O último estágio avaliado foi o de desenvolvimento do fruto, com aplicações em estágio de grão leitoso (Tabela 4). Igualmente ao estágio de florescimento a análise de variância para o estágio de desenvolvimento do fruto, indicou diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis avaliadas (Apêndice III). A produção de sementes e o PMS diminuíram, em maior ou menor intensidade em relação à testemunha (Tabela 4).

As maiores reduções na produção de sementes foram com a aplicação de paraquate, glifosato, glufosinato de amônio e cletodim, independente da dose, e iodosulfurom-metílico (5 g/ha). Os demais tratamentos também afetaram negativamente a produção de sementes de azevém, mas em menor intensidade (50%) comparado à testemunha (Tabela 4).

O peso das sementes pode ser um indicador do vigor das plântulas (STEADMAN et al., 2006). Na avaliação de PMS, outro atributo físico de qualidade da semente, os resultados indicaram maiores reduções em resposta à aplicação dos herbicidas glifosato, glufosinato de amônio e paraquate. O glufosinato de amônio (400 g/ha) reduziu 42% o peso de sementes em relação à testemunha, não diferindo significativamente de glifosato (720 g/ha), com redução de 34% e paraquate (200 e 400 g/ha) de 32% e 35% respectivamente. Glufosinato de amônio (200 g/ha) reduziu em 27% o peso de sementes, não diferindo de cletodim (108 g/ha) com redução de 26%, glifosato (360 g/ha) redução de 17% e iodosulfurom-metílico (5 g/ha), de 18% em relação à testemunha. Trinexapaque-etílico, 2,4-D, iodosulfurom-metílico (2,5 g/ha) e cletodim (56 g/ha) também reduzem o PMS de azevém neste estágio de desenvolvimento, mas em menor grandeza. Resultado semelhante foi obtido em um estudo com trigo, no qual o glufosinato de amônio e cletodim diminuíram o PMS quando aplicados em estágio de grão pastoso (KRENCHINSKI et al., 2017). O glufosinato de amônio e cletodim podem ter causado



maior estresse nas plantas, interferindo no transporte de compostos fotoassimilados para a semente, e por consequência, afetando o PMS (KRENCHINSKI et al., 2017).

Em outro estudo em trigo foram avaliadas doses de glifosato no estágio de grão leitoso onde foi verificado que houve redução do peso do grão quando o herbicida foi aplicado em doses mais altas (840 g/ha) (YENISH; YOUNG, 2000). O tamanho de sementes sugere que as sementes ainda poderiam estar imaturas quando o desenvolvimento foi interrompido pelos herbicidas aplicados (BENNETT; SHAW, 2000). A aplicação de glifosato no desenvolvimento inicial de sementes também foi evidenciada em *Sesbania exaltata* com reduções de 73% no peso de sementes; no mesmo estágio em *Senna obtusifolia* o peso de sementes também foi reduzido em 46% (CLAY; GRIFFIN, 2000).

As reduções mais significativas de produção de sementes em relação à testemunha ocorreram com a aplicação de paraquate (97%), glufosinato de amônio (91%), glifosato (89%), cletodim (83%) e iodosulfurom-metílico (77%). Em trigo resultados similares foram encontrados com paraquate em estágio de grão leitoso a pastoso. Paraquate reduziu mais eficientemente a produção de sementes de trigo em comparação com glufosinato e glifosato (PERBONI et al., 2018). Em *Lolium rigidum* paraquate+diuron e glifosato diminuíram drasticamente a produção de sementes quando aplicado após a antese, em grão leitoso e grão pastoso (STEADMAN et al., 2006), similar aos resultados obtidos nesta investigação.

A viabilidade de sementes de azevém foi reduzida na aplicação de cletodim, glufosinato de amônio e iodosulfurom-metílico (5 g/ha) no estágio de desenvolvimento do fruto (Tabela 4). Cletodim nas doses de 54 e 108 g/ha reduziu a viabilidade em 29 e 35%, respectivamente, o glufosinato de amônio nas doses de 200 e 400 g/ha em 27 e 40%, respectivamente, e iodosulfurom-metílico (5 g/ha) reduziu a viabilidade em 15% em relação à testemunha. Jha e Norsworthy (2012) demonstraram que a aplicação de glufosinato, 2,4-D ou dicamba no estágio reprodutivo de *Amaranthus palmeri* S. Wats também reduziu a viabilidade de sementes.

Tabela 4 - Produção e qualidade de sementes de azevém em função da aplicação de doses de herbicidas ou regulador de crescimento no estádio de desenvolvimento do fruto (grão leitoso). Passo Fundo/RS, 2019

Tratamento	Dose <sup>1</sup>	Produção de sementes	PMS	Viabilidade <sup>3</sup>	Teste de Germinação (%)			
	g/ha				kg/ha	g	V	G
Testemunha	-	823,4 a	2,09 a	78 b	51 a	53 b	19 c	28 b
S-metolaclo	1440	557,4 b	2,14 a	86 a	61 a	64 a	23 c	13 b
Trinexapaque-etílico <sup>2</sup>	200	557,3 b	2,00 b	88 a	63 a	66 a	25 c	9 b
S-metolaclo	720	547,4 b	2,19 a	88 a	68 a	69 a	16 c	15 b
2,4-D	1340	520,2 b	1,80 b	89 a	58 a	59 b	20 c	21 b
2,4-D	670	514,6 b	1,97 b	85 a	55 a	57 b	18 c	25 b
Trinexapaque-etílico <sup>2</sup>	400	349,8 c	2,01 b	86 a	61 a	67 a	21 c	12 b
Etefom <sup>2</sup>	360	348,8 c	2,32 a	89 a	73 a	73 a	16 c	11 b
Etefom <sup>2</sup>	720	321,9 c	2,22 a	88 a	69 a	70 a	16 c	14 b
Iodosulfurom-metílico	2,5	309,5 c	1,81 b	71 b	47 a	49 b	19 c	32 a
Iodosulfurom-metílico	5	193,4 d	1,71 c	63 c	31 b	38 c	25 c	37 a
Cletodim	108	152,8 d	1,53 c	43 d	19 c	22 d	29 c	49 a
Cletodim	54	137,3 d	1,80 b	48 d	31 b	38 c	22 c	40 a
Glufosinato de amônio	200	126,4 d	1,52 c	51 d	34 b	35 c	23 c	42 a
Glifosato	720	96,2 d	1,37 d	79 b	34 b	36 c	19 c	45 a
Glifosato	360	90,9 d	1,73 c	79 b	34 b	36 c	31 b	33 a
Glufosinato de amônio	400	74,1 d	1,21 d	37 d	10 c	13 d	34 b	53 a
Paraquate	200	45,4 d	1,40 d	77 b	7 c	9 d	43 a	48 a
Paraquate	400	21,9 d	1,34 d	73 b	9 c	10 d	51 a	39 a

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott Knott ( $p < 0,05$ ).

Vigor (V), Porcentagem de germinação (G), Sementes dormentes (D) e Sementes mortas (M).

<sup>1</sup> g/L ou g/kg de ingrediente ativo ou equivalente ácido.

<sup>2</sup> Regulador de crescimento vegetal.

<sup>3</sup> Avaliação por teste de tetrazólio (TZ).

Para uma planta daninha se restabelecer deve dispersar sementes viáveis na área, por conseguinte a redução no seu número de sementes é uma importante prática para evitar uma reinfestação na área. Um dano na inflorescência reduz a formação de sementes e interrompe o desenvolvimento do embrião em crescimento, diminuindo a viabilidade (MAUN; CAVERS, 1969). O herbicida glifosato não afetou a viabilidade de sementes de azevém no estágio de grão leitoso (Tabela 4), Steadman et al. 2006, obtiveram o mesmo resultado em *Lolium rigidum*.

A viabilidade de sementes de azevém no estágio de desenvolvimento do fruto também foi aumentada (Tabela 4). As aplicações de trinexapaque-etílico, 2,4-D, etefom e s-metolacoloro, independente da dose, produziram quantidades maiores de sementes viáveis em relação à testemunha. Os reguladores de crescimento, etefom e trinexapaque-etílico são produtos que geram uma maior translocação de reserva para as sementes, a assim podem resultar em uma maior quantidade de indivíduos aptos à sobrevivência (CHASTAIN et al., 2014), como o aumento da viabilidade.

No caso do herbicida paraquate a aplicação antes da maturidade fisiológica de sementes contribuiu para a redução de seu preenchimento, pois há dessecação imediata de folhas e, conseqüentemente, redução de translocação de fotoassimilados para as sementes (PERBONI et al., 2018). O paraquate causa lesões oxidantes em células e provoca um espectro de respostas que vão desde a parada de divisão, senescência e morte celular (MARTINDALE; HOLBROOK, 2002).

Já glufosinato é um herbicida que inibe a atividade da glutamina sintetase (GS). A GS desempenha o principal papel na assimilação do nitrogênio inorgânico e amônia (BOGER; SANDMANN, 1989), assim a inibição irreversível da GS pelo glufosinato leva a um rápido acúmulo de amônia. O excesso de amônia na planta, por sua vez, causa redução de atividade fotossintética, rompimento da estrutura cloroplástica, vesiculação de estroma e acúmulo de glioxilato (BOGER; SANDMANN, 1992; BÖGER; WAKABAYASHI; HIRAI, 2012). A fotossíntese diminui duas a quatro horas após a aplicação, e as plantas ficam amarelas e morrem de dois a cinco dias. Essa morte rápida

de plantas causada pelo glufosinato pode impedir a síntese e a translocação de fotoassimilados, inibindo o desenvolvimento de sementes (BENNETT; SHAW, 2000).

O glifosato é um herbicida sistêmico não seletivo, que inibe a enzima 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintetase (EPSPS) (GRIFFIN; BOUDREAUX; MILLER, 2010), a qual por seu turno reduz a biossíntese de aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano e leva à morte de plantas (YU et al., 2009). Com isso, o crescimento de plantas é inibido logo após a aplicação, seguido de clorose foliar geral e necrose dentro de quatro a sete dias para poáceas, impedindo o acúmulo de biomassa (MARCOS FILHO, 2015).

De forma geral, todos os tratamentos herbicidas avaliados no estágio de desenvolvimento do fruto afetaram a produção de sementes em comparação com a testemunha (Tabela 4). Os resultados de germinação, vigor (primeira contagem), sementes dormentes e sementes mortas também estão apresentados na Tabela 4. Os herbicidas paraquate (200 e 400 g/ha), glufosinato de amônio (400 g/ha) e cletodim (108 g/ha), foram os que mais reduziram a germinação e o vigor de sementes, seguidos de glifosato (360 e 720 g/ha), iodosulfurom-metílico (5 g/ha), cletodim (54 g/ha) e glufosinato de amônio (200 g/ha) com reduções menores de germinação e vigor, mas significativas em relação a testemunha. Destacaram-se os herbicidas paraquate com reduções de 82% para germinação e 85% para vigor, independente de dose, glufosinato de amônio (400 g/ha) de 76% e 80% para germinação e vigor, respectivamente e cletodim (108 g/ha) de 58% e 62% para germinação e vigor, respectivamente.

Resultados semelhantes de efeito herbicida sobre a qualidade fisiológica de sementes de azevém foram encontrados por Campos et al. (2012) que obtiveram controle total da germinação com paraquate + diuron (500 + 250 g/ha) e glufosinato de amônio (600 g/ha). A aplicação de glufosinato de amônio por Da Rosa Ulghim et al. (2019) em pós-floração de azevém também reduziu significativamente a germinação e a viabilidade de sementes da planta daninha. Em sorgo o herbicida glifosato aplicado em pré-colheita teve efeito prejudicial na germinação de suas sementes (BARROS et al., 2019).

O herbicida cletodim diminuiu drasticamente o vigor (36%) (primeira contagem do teste de germinação) de sementes de trigo quando aplicado em estágio de enchimento de grão (KRENCHINSKI et al., 2017). Na mesma cultura, Bellé et al. (2014) verificaram que a dessecação em pré-colheita com paraquate e glifosato nos estádios de massa mole e massa dura de sementes levou à redução de germinação, com efeito maior quando o paraquate foi usado.

Em culturas como o arroz (HE et al., 2015) e o trigo (MONÇON FIPKE et al., 2018), o paraquate também reduziu a germinação e o vigor de sementes, afetando o desenvolvimento inicial de plântulas. O produto usado na pós-floração, para impedir o desenvolvimento de sementes de *Lolium* spp., pode inibir a germinação das sementes maduras em 80% a 100% (APPLEBY; BRENCHLEY, 1968; GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2011), resultados equivalentes aos encontrados nesta pesquisa.

Os herbicidas podem ter provocado a diminuição de reservas da semente e, por consequência, do vigor. Assim considerando, a semente pode ter sofrido modificações no endosperma e embrião imposto pela aplicação de paraquate, glufosinato de amônio e cletodim, neste caso já se sabe que herbicidas utilizados em dessecação na pré-colheita (antes da maturação fisiológica) podem acumular na semente, reduzindo sua germinação e vigor (SUBEDI; WILLENBORG; VANDENBERG, 2017).

Os tratamentos com paraquate (200 e 400 g/ha), cletodim (108 g/ha) e glufosinato de amônio (400 g/ha) apresentaram o maior número de sementes dormentes (Tabela 4). Em girassol a aplicação de paraquate aumentou a espessura da parede celular externa da camada celular endospermática do revestimento da semente e esse fato foi associado ao aumento da dormência de sementes (SZEMRUCH et al., 2014). Finalmente, o número de sementes mortas foi aumentado com a aplicação de paraquate, glufosinato de amônio, cletodim, glifosato e iodosulfurom-metílico em relação à testemunha (sem aplicação). A maior mortalidade de sementes de azevém (89%) ocorreu com a aplicação de glufosinato de amônio (400 g/ha), não diferindo estatisticamente de paraquate, glufosinato de amônio (200 g/ha), cletodim, glifosato e iodosulfurom-metílico.

Neste estudo seguiram-se recomendações de Norsworthy et al. (2012) para manejar plantas daninhas resistentes, cujas diretrizes são a prevenção de produção de sementes e o seu incremento no banco do solo. As aplicações de herbicidas em plantas daninhas no final de estação (“escapes”), devido à emergência distribuída no tempo, podem potencialmente reduzir adições ao banco de sementes na estação de cultivo. Os resultados aqui apresentados sugerem que os herbicidas cletodim, glifosato, glufosinato de amônio e paraquate aplicados nos estádios de espigamento ou florescimento (antese) e iodosulfurom-metílico somente no espigamento, pode ser utilizados efetivamente com o objetivo de evitar totalmente o reabastecimento do banco de sementes e, assim, colaborar com a depleção do banco da espécie. Importante ressaltar um efeito secundário da aplicação de cletodim, além de inibir totalmente a produção de sementes, impediu rebrotes e, conseqüentemente, o surgimento de novas plantas na área, um efeito indireto que também contribuiu para a redução do potencial de ressemeadura da espécie.

O controle da produção de sementes de plantas daninhas passou a ser considerado uma ferramenta capaz de reduzir a propagação de plantas daninhas resistentes a herbicidas, impedir o estabelecimento, distribuição espacial e acúmulo de sementes no solo (NEVE et al., 2011). Somado a isso, também tem o potencial de atrasar a evolução de resistência pela redução de número de plantas expostas, devido à pressão de seleção pelo herbicida. Essa inibição da produção de sementes de plantas daninhas é importante, particularmente para espécies que já desenvolveram resistência ao glifosato, como o azevém.

Espécies de *Lolium*, em razão de sua diversidade genética e potencial de hibridação correm um alto risco de desenvolver resistência a outros sítios de ação de herbicidas usados atualmente (VARGAS et al., 2004; CASTELLANOS-FRÍAS et al., 2016; BARARPOUR et al., 2017). Uma das melhores maneiras de preservar a tecnologia herbicida pelo maior tempo possível é parar a deposição de sementes de plantas daninhas no banco de sementes do solo, visto que sem a presença de semente significa que não há plantas daninhas ou plantas daninhas resistentes a herbicidas na área (BARARPOUR et al., 2020).

Com este estudo também pode-se afirmar que sementes adicionadas ao banco de sementes após um tratamento por pulverização seriam, portanto, menos competitivas em culturas subsequentes como foi observado nas aplicações de paraquate, cletodim e glufosinato de amônio, cujas sementes de azevém tiveram vigor e germinação menores. Além de impactar negativamente a produção, afetar também a qualidade de sementes de azevém, enfatiza ainda mais a importância da prática para um manejo integrado e sustentável.

Diminuir o potencial de infestação de plantas daninhas no banco de sementes do solo pode ser um meio eficaz, também, de reduzir seu impacto em culturas subsequentes e auxiliar práticas integradas de controle. A erradicação de plantas infestantes, embora seja difícil de alcançar, pode promover a estabilidade de tecnologias de controle com herbicidas por períodos maiores (BARARPOUR et al., 2020; CROW et al., 2015).

Esta pesquisa demonstrou que as contribuições anuais de sementes de azevém para o banco de sementes do solo podem ser significativamente reduzidas por uma única aplicação de herbicidas (glifosato, glufosinato de amônio, paraquate, cletodim ou iodosulfurom-metílico) em estágio de espigamento, florescimento ou formação de grão.

### **3.5 Conclusões**

A aplicação de cletodim, glifosato, glufosinato de amônio e paraquate nos estágio de espigamento ou florescimento e iodosulfurom-metílico no espigamento, suprimem a produção de sementes e potencialmente o reabastecimento do banco de sementes de azevém.

No estágio de grão leitoso todos os produtos aplicados causam efeitos negativos na produção de sementes, com destaque para o paraquate. A maior redução de peso de mil sementes em estágio de grãos leitoso ocorre com a aplicação de glufosinato de amônio (400 g/ha).

Os herbicidas paraquate, glufosinato de amônio e cletodim reduzem a germinação e o vigor de sementes, paraquate e glufosinato de amônio aumentam o número de sementes dormentes e paraquate, glufosinato de amônio, cletodim, glifosato e iodosulfurom-metílico aumentam a porcentagem de sementes mortas, quando aplicado no estágio de grão leitoso de azevém.



## 4 CAPÍTULO II

Dinâmica de germinação de sementes de *Lolium multiflorum* resistente e sensível ao glifosato

### 4.1 Resumo

O azevém (*Lolium multiflorum*) é uma das plantas daninhas mais difíceis de controlar em sistemas de cultivo em todo o mundo, principalmente em regiões de clima temperado. A utilização frequente de herbicidas nas últimas duas décadas selecionou biótipos resistentes de azevém em lavouras no sul do Brasil. A semente de azevém possui dormência quando disseminada e pode escalar sua germinação ao longo do tempo. Sua persistência no sistema é dependente do banco de sementes do solo. O conhecimento do comportamento de germinação de plantas resistentes a herbicidas foi pouco estudado e, no entanto, pode ser muito útil no manejo integrado de plantas daninhas. Assim, este estudo teve como objetivo caracterizar a dinâmica do banco de sementes de dois biótipos de *L. multiflorum*, um resistente e outro sensível ao glifosato, em sistema de plantio direto. Os tratamentos foram arranjados em esquema bifatorial, sendo avaliados biótipos de azevém (resistente e sensível) e períodos de coleta mensal (um a 12 meses) das sementes no campo. As sementes de cada biótipo foram dispostas na camada superficial do solo e cobertas por solo e palha para simular condições de plantio direto. A cada 30 dias foi avaliada a porcentagem de sementes germinadas, dormentes e mortas. Verificou-se que o banco de sementes de azevém foi reduzido ao remanescente de 11% e 15% de sementes dormentes no solo, ao findar 12 meses, porém não houve variação de germinação, dormência e mortalidade de sementes entre azevém resistente e sensível ao glifosato. Sementes de biótipo resistente e biótipo sensível ao glifosato apresentaram comportamento fisiológico com dinâmicas semelhantes no solo em um período de 12 meses.

Palavras-chave: 1. Azevém. 2. Dormência de semente. 3. Ecologia da germinação. 4. Banco de sementes. 5. Plantio direto.

### 4.2 Introdução

As plantas daninhas são um problema para as práticas agrícolas atuais pois afetam negativamente o rendimento de culturas e a qualidade de sementes (RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007). Apesar do uso intensivo de herbicidas, o controle de plantas daninhas frequentemente se torna ineficaz devido à evolução de populações de plantas resistentes (GHERSA et al., 2000; POWLES, 2018). Comparações de biótipos resistentes e suscetíveis a herbicidas mostram que populações variam não apenas em características

morfológicas, mas também em respostas de desenvolvimento, como taxas de fotossíntese e de crescimento relativo e potencial de germinação (VILA-AIUB et al., 2005; GUNDEL et al., 2008). O conhecimento de componentes de aptidão relativos a biótipos resistentes e suscetíveis é importante para prevenir e gerenciar a resistência.

A evolução de resistência a herbicidas em azevém significa que outras estratégias de controle precisam ser desenvolvidas para o manejo desta espécie. A compreensão do padrão de germinação de espécies daninhas no solo é valiosa no desenvolvimento de estratégias futuras de manejo (CHAUHAN; GILL; PRESTON, 2006). O sucesso de espécies anuais de plantas daninhas em sistemas de cultivo pode ser avaliado através do grau de sincronização de germinação, capacidade alta de germinar e longevidade de sementes. Em estudos de emergência de plântulas de *Lolium multiflorum* de uma população resistente ao diclofop-metil, obtiveram-se resultados de emergência atrasada para o biótipo resistente em comparação com uma população suscetível (GHERSA et al., 1994a), e resultados posteriores sugeriram que a germinação foi inibida por temperaturas altas registradas no final de verão e início de outono (GHERSA et al., 1994b).

Normalmente, as sementes de plantas daninhas germinam quando as condições são favoráveis, em solos com recursos suficientes para suportar o crescimento subsequente da planta e, assim, permitir a sobrevivência da espécie (CHAUHAN; JOHNSON, 2008). O nível de perturbação do solo de áreas agrícolas determina a distribuição vertical de sementes de plantas daninhas no perfil de solo (YENISH et al. 1992; KOBAYASHI; OYANAGI, 2005) e cria ambientes diferentes de maturação para as sementes. O sistema de plantio direto no solo deixa muitas sementes em sua superfície (YENISH et al. 1992), assim, sementes alocadas na superfície ou em profundidades menores têm exposição maior à luz e condições ambientais favoráveis para a germinação (BEWLEY et al., 2013).

Atributos de microambiente de solo podem afetar o potencial germinativo de plantas daninhas. Por exemplo, a liberação de dormência de sementes em *Lolium rigidum*, que é de mesmo gênero que o azevém (*L. multiflorum*) e uma planta daninha prejudicial as culturas de inverno na Austrália (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012), é mais

rápida quando a temperatura e umidade do solo são aumentadas (STEADMAN et al. 2003a), sua germinação também é afetada pela exposição à luz (STEADMAN et al., 2003b). Para melhorar os sistemas de manejo de plantas daninhas para espécies específicas é essencial ter informações sobre dormência, germinação, decomposição (deterioração) de sementes, emergência de plântulas e variações entre populações (MENNAN; NGOUAIJO, 2006).

A persistência de um banco de sementes de plantas daninhas depende de proporções de sementes que germinam ou permanecem inativas (BUHLER; HARTZLER; FORCELLA, 1997). A dormência é frequentemente vista como um dos principais mecanismos pelos quais as plantas daninhas são capazes de invadir e persistir nas lavouras, definida como a condição interna da semente que impede a germinação sob condições hídricas, térmicas e gasosas adequadas (BEWLEY et al., 2013). No entanto, uma vez que a semente é liberada da dormência, a germinação ocorre em uma gama ampla de ambientes, comumente encontrados em lavouras de cultivo (BENECH-ARNOLD et al., 2000). Para controlar efetivamente o azevém em uma área de clima temperado úmido é necessário entender a ecologia e dinâmica de sua germinação no banco de sementes na região de estudo.

O azevém é uma das poáceas mais utilizadas no sul do Brasil em sucessão a cultura da soja - infestando ou como cultura principal em sistemas de rotação de culturas no inverno - e dispersando suas sementes antes da semeadura da soja na estação seguinte (MAIA et al., 2008). O sucesso de *L. multiflorum* como planta daninha é devido à sua capacidade e adaptabilidade altas para deixar descendentes, com relatos de produção de até 45.000 sementes por m<sup>2</sup> (BARARPOUR et al., 2017). Para controlar *L. multiflorum* resistente ao glifosato com êxito é importante esgotar seu banco de sementes. Tal depleção requer uma compreensão da dinâmica de dormência e germinação de sementes de azevém.

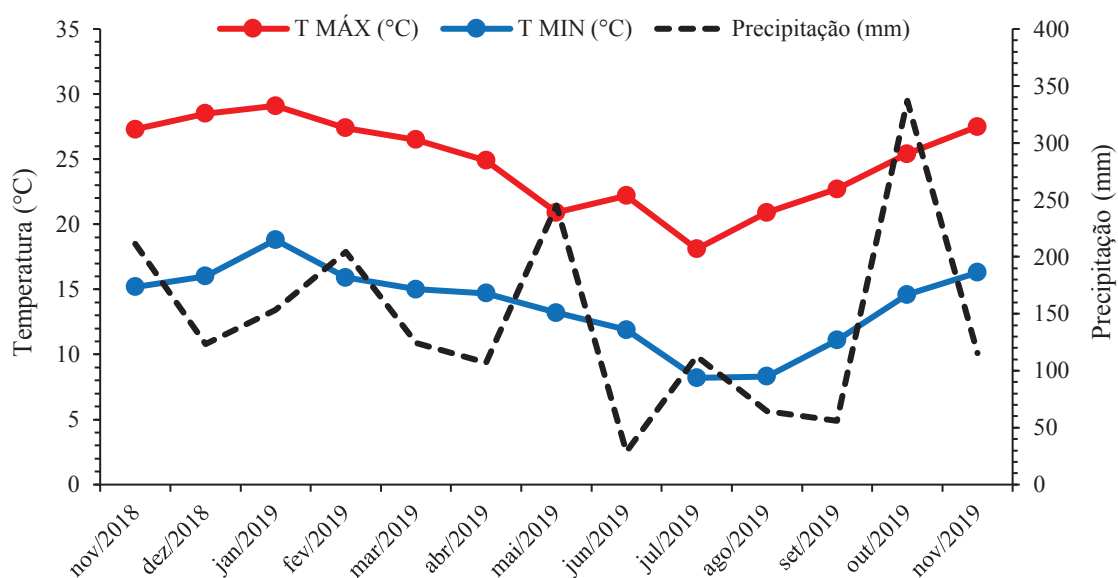
O conhecimento do comportamento germinativo pode ajudar pesquisadores no planejamento de abordagens de manejo integrado de plantas daninhas visando o esgotamento de sementes de azevém no banco de semente do solo (NARWAL; SINDEL;

JESSOP, 2008). Este trabalho teve como objetivo caracterizar a dinâmica do banco de sementes de dois biótipos de *L. multiflorum*, um resistente e outro sensível ao glifosato, em sistema de plantio direto.

### 4.3 Material e Métodos

O experimento de campo foi conduzido em 2018 e 2019 no campo experimental Área 1 (28° 15' 46" S, 52° 24' 24" W – Altitude: 684m) da Embrapa Trigo e os testes de qualidade fisiológica no Laboratório de Análise de Sementes da Embrapa Trigo, em Passo Fundo/RS, Brasil. Os dados climáticos do período do experimento estão apresentados na Figura 2. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico húmico.

Figura 2 - Temperaturas máximas e mínimas (°C) e precipitação (mm) registradas durante novembro de 2018 a novembro de 2019. Passo Fundo/RS, 2019



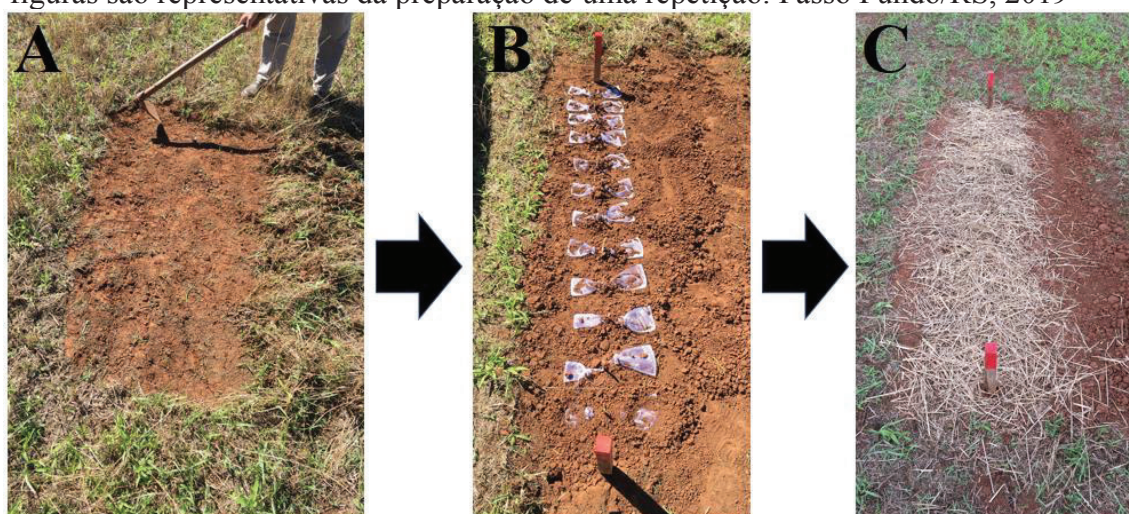
Fonte: Dados de precipitação e temperatura disponibilizados pela Embrapa Trigo.

Sementes de *L. multiflorum* resistentes e sensíveis ao glifosato foram coletadas em novembro de 2018 de população com resistência e sensibilidade conhecidas. Um teste de tetrazólio inicial foi realizado para testar a viabilidade de sementes (89% e 88% para os

biótipos resistentes e sensíveis, respectivamente), seguindo as orientações para teste de tetrazólio, descrito nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009).

Os tratamentos foram arranjados em esquema bifatorial, sendo os biótipos de azevém (resistente e sensível ao glifosato) x períodos de coleta (de um a 12 meses). Para cada biótipo, foram confeccionados doze saquinhos de malha perfurada de nylon de 9 x 12 cm de área. Cem sementes puras de cada um dos dois biótipos foram colocadas em cada um dos saquinhos de nylon. Em 10/11/2018, doze saquinhos contendo as sementes resistentes e doze contendo sementes sensíveis foram distribuídos aleatoriamente na superfície do solo, em cada unidade experimental, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Em seguida, os saquinhos foram cobertos por uma camada fina de solo de aproximadamente 0,5 cm (Figura 3). A vegetação na área experimental, sempre que ressurgia, era removida por capina manual.

Figura 3 - Instalação do experimento de dinâmica de germinação de sementes de *Lolium multiflorum* resistente e sensível ao glifosato: A) limpeza da área, B) posicionamento dos saquinhos de nylon contendo as sementes; e C) utilização de cobertura morta. As figuras são representativas da preparação de uma repetição. Passo Fundo/RS, 2019

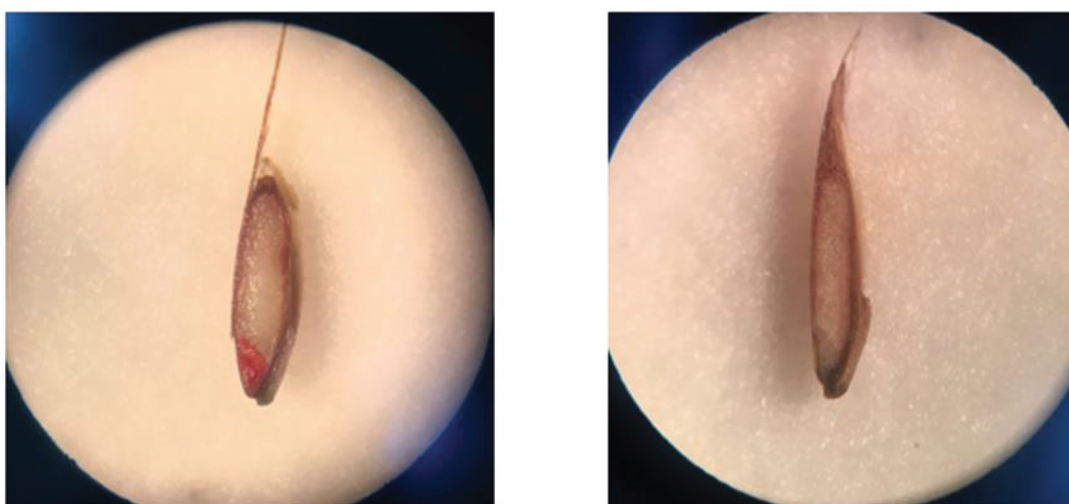


Fonte: Imagem do autor.

Foram consideradas como sementes puras aquelas cujo seu tamanho era maior que a metade do tamanho do lema. As sementes de cada tratamento foram exumadas do solo a cada 30 dias, de dezembro/2018 a novembro/2019, num total de doze meses. O número

de sementes germinadas, dormentes e mortas (predadas, moles e vazias) foram contabilizados. O critério utilizado para “sementes germinadas” foi a protusão de raiz primária. As sementes restantes, foram avaliadas por pressão suave de uma pinça e foram classificadas em dormentes ou mortas. As sementes que colapsaram foram consideradas como mortas, enquanto que, as sementes firmes foram submetidas ao teste de tetrazólio (Figura 4). Para tanto, foi realizado um corte longitudinal da semente através embrião e  $\frac{3}{4}$  do endosperma; a solução (sal 2, 3, 5 trifênil cloreto de tetrazólio) de coloração foi aplicada por quatro horas em uma temperatura de 30°C, na concentração de 0,5%. Foi considerada como viável a semente que possuía o embrião com coloração avermelhada a rósea (BRASIL, 2009).

Figura 4 - Classificação de semente viável (esquerda) e não viável (direita) de azevém, após coloração no teste de tetrazólio. Passo Fundo/RS, 2019



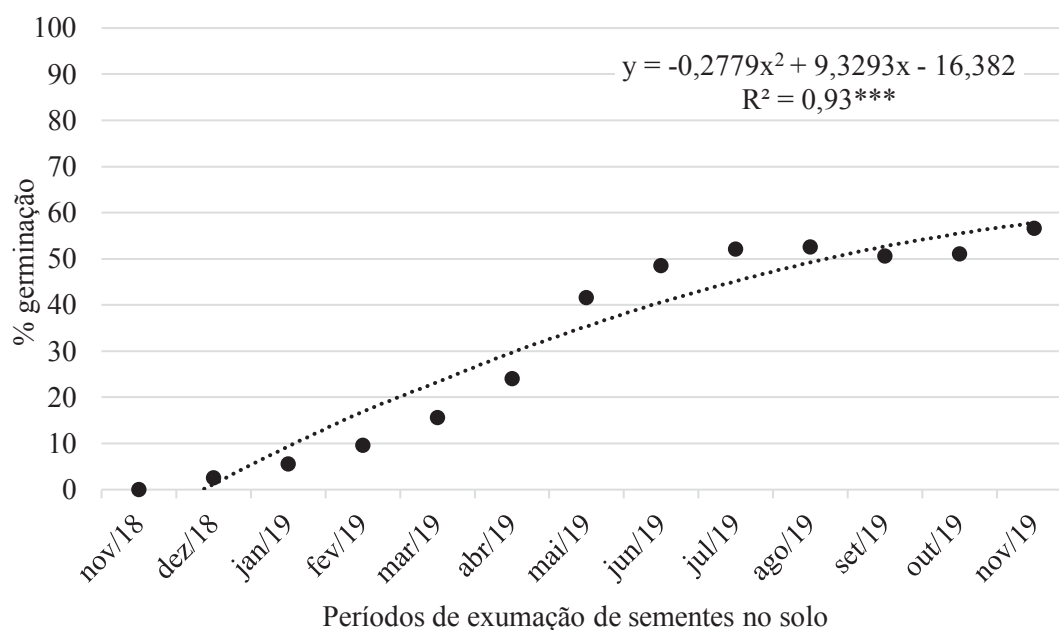
Fonte: Imagem do autor.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, quando o teste foi significativo os dados foram analisados por análise de regressão para o fator quantitativo (período de coleta) e para o fator qualitativo (biótipo) teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo software RStudio (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

#### 4.4 Resultados e Discussão

A exumação das sementes de azevém ocorreu uma vez por mês ao longo de doze meses. A germinação de sementes durante esse período apresentou resposta quadrática (Figura 5). Não foi verificada diferença significativa de germinação de sementes de *L. multiflorum* sensível e resistente ao glifosato (Apêndice IV). O biótipo sensível teve tendência em germinar mais rapidamente (9% de diferença da germinação no mesmo período) em comparação ao biótipo resistente no início do inverno (maio); após esse período os biótipos seguiram padrão de germinação crescente sem diferenças marcantes. Em estudos semelhantes, Gill et al. (1996), Vila-Aiub et al. (2005) e Recasens et al. (2007) em *L. rigidum* e Ghera et al. (1994a) em *L. multiflorum* relataram que populações resistentes a herbicidas inibidores de ACCase e ALS, tendem a germinar um pouco mais tarde do que as suscetíveis a herbicidas.

Figura 5 - Dinâmica da germinação (%) de sementes de azevém expostas na superfície do solo e exumadas ao longo de doze meses. Média dos biótipos resistente e suscetível. Passo Fundo/RS, 2019



A porcentagem final de germinação de sementes coletadas em novembro/2019, foi de 56% para o biótipo sensível e 57% para o biótipo resistente. Resultados semelhantes

foram encontrados em sementes de *Lolium rigidum* enterradas a 1 cm de profundidade, onde 49% das sementes germinaram, enquanto que, para sementes enterradas a 2 cm, a germinação final de 44% (CHAUHAN; GILL; PRESTON, 2006).

Sementes de *L. multiflorum* apresentam dormência primária no momento do amadurecimento que é perdida por efeito de temperaturas mais baixas do inverno (RODRIGUEZ et al., 1998) e sua germinação pode ser promovida por temperaturas alternadas (DEREGIBUS et al., 1994). Temperaturas baixas e umidade alta proporcionam maior liberação de dormência de sementes. Assim, pode-se observar que essas condições promoveram “um salto” na germinação no mês de abril para maio, de 19% para o biótipo sensível e de 15% para o biótipo resistente.

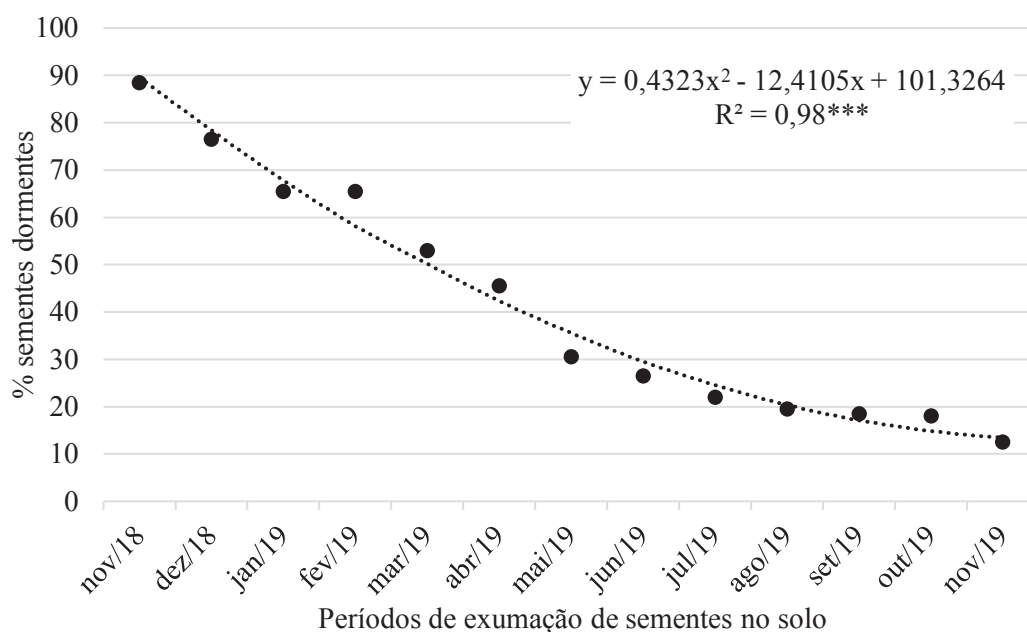
Vários fatores ambientais estão envolvidos na superação da dormência e germinação de sementes de azevém. No final da primavera e início do verão, as temperaturas de solo são normalmente superiores à temperatura máxima favorável. Neste trabalho, as temperaturas mínimas e máximas médias de cada mês avaliado, mantiveram-se dentro dos limites para germinação (Figura 2). A faixa de temperatura limite para germinação de sementes de *Lolium* varia de 5°C a 35°C, temperaturas abaixo ou acima deste limiar provocam ausência ou inibição de germinação (TURNER et al., 2001; STEADMAN et al., 2003; VILA-AIUB et al., 2005).

Não houve diferença significativa de dormência entre biótipos de *L. multiflorum* sensível e resistente ao glifosato (Apêndice IV) e a sua liberação ao longo do tempo segue padrão quadrático (Figura 6).

Quando as sementes de espécies anuais de inverno como *L. multiflorum* estão em dormência primária logo após a dispersão, a germinação é restrita a pequenas amplitudes de baixas temperaturas (BASKIN; BASKIN, 2014). Observou-se que no mês de maio ocorreu a maior germinação pois a amplitude térmica foi reduzida. A temperatura base e o somatório térmico para germinação são características genotípicas específicas, embora também possam variar entre subpopulações (SQUIRE et al., 1997; BRADFORD, 2002) e serem alteradas por seleção.



Figura 6 - Dinâmica da liberação de dormência de sementes expostas na superfície de solo e exumadas ao longo de doze meses. Média dos biótipos resistente e suscetível. Passo Fundo/RS, 2019



O verão chuvoso proporcionou hidratação intermitente das sementes, o que estimulou a germinação daquelas menos exigentes em condições específicas (dormência baixa). Já o mês de abril, mais seco em comparação com o de maio chuvoso, estimulou um pico de germinação. A hidratação completa e intermitente (ou seja, alternância de seco e úmido) de sementes aumenta a taxa de liberação de dormência (LUSH; GROVES; KAYE, 1981). Foi proposto que a superação da dormência em temperaturas e conteúdos de água da semente mais elevados esteja relacionada a aumentos na fluidez e na atividade de enzimas responsáveis por modificações da membrana (STEADMAN; CRAWFORD; GALLAGHER, 2003), e também, é provável que a diminuição da dormência em resposta ao ciclismo seco-úmido seja devida a alterações de concentrações de ácido abscísico e giberelina de sementes e/ou a sensibilidade dessas a estes hormônios (LONG et al., 2010).

A luz funciona como um sensor de posicionamento de sementes no solo. Steadman et al. (2003) observaram que a germinação de sementes de azevém é estimulada pela luz. Assumindo que as sementes na superfície do solo foram expostas a condições alternadas de luz/escuro e que as sementes subterrâneas estavam em constante escuridão, a

exposição à luz aumentou a germinação de sementes de azevém na superfície do solo durante o verão. Sob condições de sombreamento, as sementes de buva (*Conyza* spp.) localizadas em certas profundidades não recebem luz adequada, de modo que não podem responder às mudanças de temperatura ocorridas durante o ano ou às flutuações de temperatura ao longo do dia (VIDAL et al., 2007). Desse modo, a luz se faz essencial para o processo de germinação e pode induzir ou suprimir mecanismos de dormência (BASKIN; BASKIN, 2014).

Com os resultados de germinação, dormência e mortalidade de sementes obtidos neste estudo, entende-se que *L. multiflorum* escalona sua germinação ao longo do tempo, dificultando seu controle efetivo. O ajuste de tempo de germinação de sementes tem sido considerado como um dos mecanismos potenciais pelos quais plantas daninhas anuais podem melhorar sua capacidade competitiva em cenários agrícolas (ROUSH; RADOSEVICH, 1985, MARTINEZ-GHERSA et al., 2000).

Existem dois tipos de banco de sementes no solo: transitório e persistente (THOMPSON; GRIME, 1979). Um banco de sementes transitório é definido como aquele em que as sementes não vivem até a segunda estação de germinação após a maturação, enquanto que as sementes em um banco de sementes persistente vivem até a segunda ou subseqüentes estações de germinação (BASKIN; BASKIN, 2014; SCHWARTZ-LAZARO; COPEL, 2019). A longevidade de sementes no solo é o fator mais determinante para o sucesso de gerações futuras (SCHWARTZ-LAZARO; COPEL, 2019). Neste estudo, nas condições ambientais de 2018 e 2019 e sementes localizadas em superfície do solo (simulação de lavouras de plantio direto), a persistência de sementes viáveis foi de 11% e 15% para o biótipo sensível e resistente, respectivamente, após 12 meses. Entende-se assim que *L. multiflorum* possui banco de sementes persistente no solo.

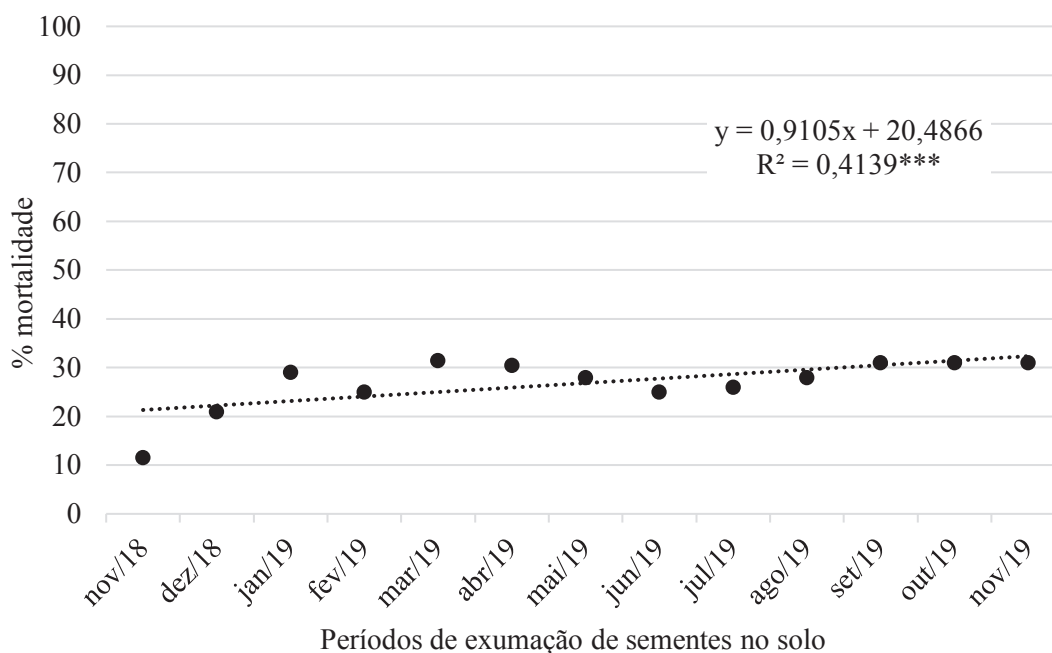
Em estudos nos quais compararam-se profundidade de enterrio *versus* a sua persistência, uma população de *L. multiflorum* manteve 4% de suas sementes viáveis em solo úmido e bem drenado após três anos e 0,4% permaneceram após sete anos (RAMPTON; CHING, 1966; RAMPTON; CHING, 1970). Em *Lolium perenne* apenas 1% de sementes mantiveram-se viáveis após 12 meses em condições de clima temperado

(JENSEN, 2010) e em *Lolium rigidum*, 1,5% das sementes persistiram enterradas próximas a superfície do solo por até quatro anos (PELTZER et al., 2002). O enterrio a mais de cinco centímetros da superfície do solo impede a germinação de *Lolium* spp., seja pela falta de variação de temperatura, pela perda de viabilidade de sementes, pelo envelhecimento em condições úmidas ou pela incapacidade do coleóptilo de alcançar a superfície do solo antes que as reservas das sementes esgotem-se (ANDREWS et al., 1997; NARWAL; VILA-AIUB et al., 2005; SINDEL; JESSOP, 2008; SINCLAIR; BEALE, 2010).

No sistema de semeadura direta, as sementes de plantas daninhas concentram-se na superfície do solo, diminuindo de forma logarítmica com o aumento da profundidade, o qual, 60% das sementes de plantas daninhas encontram-se a 1 cm da superfície do solo (YENISH et al., 1992). O acúmulo de sementes na superfície do solo em sistemas de plantio direto pode aumentar a mortalidade de sementes devido ao aumento da predação de sementes por insetos (besouros, grilos e formigas) (HOSSAIN; BEGUM, 2015). Neste trabalho não houve diferença significativa entre os biótipos avaliados para mortalidade, mas em relação ao tempo, a mortalidade de sementes de azevém aumentou (Figura 7).

Sementes de azevém com dormência maior germinaram após seis a sete meses a partir de sua dispersão e assim poderiam escapar das aplicações de herbicidas. Como consequência, um nível mais alto de dormência nas sementes é gradualmente selecionado nas populações à medida que sementes de germinação precoce é removida (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012). Plantas que emergem posteriormente são expostas aos herbicidas seletivos aplicados à cultura, o que pode resultar na evolução de resistência (NEVE; POWLES, 2005). A co-ocorrência de dormência maior e resistência a herbicidas é, portanto, alcançada rapidamente em um campo que é cultivado constantemente, mesmo na ausência de uma ligação direta entre dormência e resistência a herbicidas (OWEN et al., 2011).

Figura 7 - Porcentagem de mortalidade de sementes de azevém expostas na superfície do solo e exumadas ao longo de doze meses. Média dos biótipos resistente e suscetível. Passo Fundo/RS, 2019



As informações de germinação e longevidade de *L. multiflorum*, obtidas a partir deste experimento, são aplicáveis no planejamento de manejo integrado de plantas daninhas visando o esgotamento do banco de sementes. De modo fundamental para saber em que momento da estação de desenvolvimento de cultura, plantas de azevém têm maior probabilidade de surgir e quanto tempo as medidas de controle de azevém devem ser mantidas para fornecer um controle efetivo.

#### 4.5 Conclusões

O azevém escalona sua germinação ao longo do tempo.

Biótipos de azevém resistente e sensível ao glifosato apresentam dinâmicas semelhantes de germinação, dormência e mortalidade de sementes.

Sementes de azevém apresentam níveis de dormência e/ou podem necessitar, dentro de uma população, de condições ambientais (umidade, temperatura e luz) específicas diferentes para germinar.

Sementes de azevém podem germinar antes do início da estação subsequente de cultivo ou podem tornar-se parte de um banco de sementes persistente.

## 5 CAPÍTULO III

Reguladores de crescimento vegetal afetam a dormência e a germinação de sementes de azevém

### 5.1 Resumo

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), é considerado tanto uma planta cultivada como também uma planta daninha de inverno da região sul do Brasil. Ao final do seu ciclo, o azevém produz sementes que reabastecem seu banco no solo com variados níveis de dormência, os quais escalonam sua germinação como uma estratégia evolutiva de persistência no ambiente. Hormônios vegetais têm sido estudados amplamente por suas funções na regulação de aspectos relacionados ao desenvolvimento de plantas e, em particular em sua ação na liberação de dormência e germinação de sementes. Promover o esgotamento do banco de sementes de plantas daninhas no solo pode ser uma estratégia eficaz de combate, pois remove-as antes que possam infestar a cultura de interesse. Neste estudo, investigaram-se o desempenho de reguladores de crescimento vegetal e sua interação com nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ), na indução ou liberação de dormência e germinação de sementes de biótipos de azevém sensível e resistente ao glifosato. Foram realizados dois experimentos, o primeiro em laboratório, no qual foram testados sete reguladores de crescimento e o segundo em casa de vegetação, no qual três reguladores e doses selecionadas foram testados - por inibirem ou induzirem a liberação de dormência. Em laboratório, os reguladores de crescimento vegetal, testados foram: ácido abscísico (ABA), ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), ácido indolacético (AIA), 6-benzilaminopurina (BAP), fluridone, paclobutrazol e diniconazole, cada um em seis doses (0, 5, 10, 20, 40 e 80  $\mu\text{M}$ ) sem e com  $\text{KNO}_3$  (0,2%). As variáveis avaliadas foram: plântulas normais, anormais, sementes dormentes, mortas (%) (teste de germinação) e sementes viáveis e não viáveis (%) (teste de viabilidade por tetrazólio). Assim, em conformidade com os resultados encontrados em laboratório, em casa de vegetação foram aplicados no solo os reguladores vegetais selecionados: ABA nas doses de 300 e 6000  $\mu\text{M}$ ,  $\text{GA}_3$  nas doses de 30, 300, 3000 e 6000  $\mu\text{M}$  e fluridone nas doses de 30, 300 e 3000  $\mu\text{M}$ , em sementes de azevém de dois biótipos. O número de plantas emergidas foi contabilizado semanalmente até o momento em que este permaneceu constante. Como resultados, observou-se que o tratamento com ABA inibiu a germinação de sementes de azevém, enquanto que  $\text{GA}_3$ , conhecido como estimulador de germinação, é ineficaz ou mesmo inibitório.  $\text{KNO}_3$  estimula a germinação na maioria dos casos e anula parcialmente os efeitos inibitórios de ABA. A germinação é inibida completamente quando aplicado paclobutrazol na dose de 80  $\mu\text{M}$ . No solo, o efeito inibitório de ABA, na dose de 300  $\mu\text{M}$ , é perdido totalmente aos 21 dias após aplicação e fluridone estimula a emergência de plântulas albinas de azevém, incapazes de continuar seu desenvolvimento.

Palavras-chave: 1. Ácido abscísico (ABA). 2. Fisiologia de sementes. 3. *Lolium multiflorum*. 4. Planta daninha. 5. Banco de sementes.

## 5.2 Introdução

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) é uma planta daninha poácea de ciclo anual, presente em lavouras de inverno, em pomares e vinhedos da região sul do Brasil (VARGAS et al., 2004). Esta planta daninha tem invadido terras agrícolas competindo por recursos em culturas de interesse econômico como trigo, cevada e arroz (SCURSONI et al., 2012; NIINOMI et al., 2013; ALSHALLASH, 2014; AGOSTINETTO et al., 2017). Seu hábito de crescimento semelhante a culturas de cereais de inverno, juntamente com sua capacidade competitiva alta o tornou um problema significativo (ROMAN et al., 2004) para vários produtores de grãos.

*Lolium* spp. infestam culturas em praticamente todos os continentes habitados (HEAP, 2020). O sucesso de azevém como planta daninha é devido à sua variabilidade genética e adaptabilidade, juntamente com sua alta capacidade de perfilhamento e produção de sementes por espiga, chegando ao patamar de mais de 36.000 sementes por planta (BARARPOUR et al., 2017; AGOSTINETTO et al., 2017). Em geral, a persistência de sementes de *Lolium* spp. no solo é curta, mas há relatos que podem persistir por até sete anos (RAMPTON; CHING, 1966). Sua capacidade de produzir um número grande de sementes por planta e conseqüentemente aumentar a deposição dessas no banco de sementes do solo é um problema muito grande, não apenas por dificultar adoção de medidas de controle, mas também por favorecer à dispersão de biótipos resistentes a herbicidas (BARARPOUR et al., 2017).

Biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas são uma ameaça crescente à produção agrícola. Biótipos de azevém resistente ao glifosato foram relatados pela primeira vez em 2003 em pomares do Chile (PEREZ; KOGAN, 2003) e agora são relatados em pomares e campos de cereais de onze países: Argentina, Brasil, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, França, Inglaterra, Itália, Japão, Nova Zelândia e Suíça (HEAP, 2020). Um entendimento de biologia básica de biótipos resistentes, pode fornecer informações úteis no manejo da resistência (CROOKS, 2005), pois comparações entre biótipos sensível e resistente a herbicidas mostraram que populações podem variar não apenas em características morfológicas, mas também em respostas de desenvolvimento,

como taxa de crescimento relativo, taxa fotossintética ou taxa de germinação (HOLT, 1990, VILA-AUB et al., 2005).

A persistência de plantas daninhas depende do banco de sementes do solo (SCHWARTZ-LAZARO; COPES, 2019). Os bancos de sementes do solo servem como reservatórios de material genético que permitem uma variedade de respostas a condições ambientais e protegem as populações contra condições ambientais adversas temporárias (TEO-SHERRELL; MORTENSEN; KEATON, 1996). Se o banco de sementes de plantas daninhas anuais em uma lavoura pudesse ser estimulado a germinar de forma uniforme, antes da semeadura da cultura, as plantas daninhas seriam mais facilmente controladas, pela maioria das opções de herbicidas que podem ser utilizados em dessecação (GOGGIN; POWLES, 2014).

O escalonamento da germinação de azevém ao longo de uma estação advém em função de diferentes níveis de dormência existente em suas sementes. Poáceas em geral apresentam mecanismos de dormência que impedem sua germinação logo após a maturação (dormência primária) ou ao longo do tempo caso as condições ambientais sejam desfavoráveis podem adquirir dormência secundária (BEWLEY et al., 2013). Sementes de azevém são dormentes quando dispersas (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012). Uma melhor compreensão de dormência de sementes de *L. multiflorum*, como ela se desenvolve e evolui, e como pode ser manipulada, pode contribuir muito para a remoção de plantas daninhas dentro de um programa integrado de manejo de plantas daninhas.

A dormência de sementes é definida como a incapacidade de uma semente viável, germinar sob condições favoráveis (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; BEWLEY et al., 2013; BASKIN; BASKIN, 2014). O fitohormônio ácido abscísico (ABA) se acumula e a dormência de sementes é iniciada e mantida durante o desenvolvimento das sementes (SHU et al., 2016). A estratégia materna é reduzir a competição entre parentes, produzindo descendentes com uma variedade de caracteres que favoreçam a dormência, permitindo a dispersão de sementes dormentes no tempo e no espaço e preenchendo o banco de sementes no solo (PENFIELD, 2017). Dessa



maneira, a planta-mãe produz populações de sementes com estratégias variadas, para germinação imediata ou para preencher o banco de sementes no solo (PENFIELD, 2017). Ao escalonar a emergência de plantas durante a estação de cultivo, uma proporção de indivíduos em uma população de plantas daninhas evita ser o alvo de herbicidas pré e pós-emergentes ou outras práticas de controle (BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2007).

No processo germinativo, logo após a absorção de água e embebição do embrião, o metabolismo celular é ativado e a germinação começa em uma semente não dormente (RODRÍGUEZ et al., 2015). O metabolismo também pode ser ativado em uma semente adormecida e embebida, portanto, o término da germinação e a atividade enzimática permanecem bloqueados devido à repressão pelo ABA (RODRÍGUEZ et al., 2015). Para que a germinação continue o efeito inibitório do ABA deve ser antagonizado pela síntese de outra classe de hormônios, as giberelinas, que são ativadores essenciais da germinação (SUN; GUBLER, 2004). Outros hormônios como as auxinas (LIU et al., 2013; SHU et al., 2016) e as citocininas (CHIWOCHA et al., 2005; GUAN et al., 2014) também influenciam a germinação por meio de vias de sinalização. A liberação de dormência e a germinação da semente são duas fases separadas, mas contínuas (SHU et al., 2016), a germinação das sementes, em sentido estrito, é completada pela emergência de raiz primária (NONOGAKI, 2019).

A biossíntese e desativação de ABA desempenham papéis importantes na dormência de sementes (BEWLEY et al., 2013). Em muitas espécies, o ABA está envolvido na indução e manutenção da dormência e inibe a germinação de sementes, enquanto as giberelinas (GAs) promovem a germinação (PENFIELD, 2017; DUERMEYER et al., 2018; NONOGAKI, 2019). O ABA é produzido principalmente no endosperma e mantém a dormência através do transporte para o embrião (PENFIELD, 2017). Conhecimento sobre se os hormônios vegetais, aplicados exogenamente, podem afetar a dormência e a germinação de sementes seria útil para manipular a germinação de sementes de azevém e, assim, servir de suporte em estratégias bem-sucedidas de manejo de plantas daninhas.

Sabe-se que o nitrato promove a liberação de dormência de sementes em concentrações baixas e em muitas espécies de plantas funciona como um nutriente e um sinal (DUERMEYER et al., 2018). Ele é conhecido por ser um estimulador de germinação para uma ampla variedade de espécies de plantas (LUNA; MORENO, 2009; DUERMEYER et al., 2018) e parece agir interagindo com o metabolismo hormonal de sementes (PENFIELD, 2017).

Os produtos fluridone, paclobutrazol e diniconazole atuam na germinação de sementes (GOGGIN et al., 2009). O fluridone é um herbicida (inibidor da fitoenodessaturase que também pode liberar a dormência de sementes) amplamente utilizado em sistemas aquáticos nos Estados Unidos. Em *Lolium rigidum* esse produto estimula a germinação de sementes e torna as plântulas albinas, incapazes de atingir o estágio de três folhas (GOGGIN et al., 2009; GOGGIN; POWLES, 2014). Isso por si só evitaria a necessidade de pulverizar posteriormente as plantas germinadas com outro herbicida para efetivar a remoção de plantas daninhas. Portanto, *Lolium multiflorum* é um alvo para avaliar se o fluridone pode ser usado como uma ferramenta para reduzir o banco de sementes de plantas daninhas, estimulando a germinação simultânea e em seguida, causando a morte das plântulas emergidas pelo clareamento de tecidos (acúmulo de fitoeno e falta de carotenóides) (CHAMOVITZ; SANDMANN; HIRSCHBERG, 1993; GOGGIN et al., 2015).

Técnicas agronômicas que estimulam a germinação uniforme - ou impeçam o estabelecimento de plântulas - podem ajudar a esgotar o banco de sementes de plantas daninhas (GOGGIN; POWLES; STEADMAN, 2012). Neste viés, busca-se, com este trabalho, avaliar se há efeitos de hormônios vegetais aplicados exogenamente na liberação de dormência de sementes de azevém e, com isso, inibir ou promover sua germinação. Logo, neste estudo, investigamos o desempenho de reguladores de crescimento vegetal e sua interação com nitrato de potássio ( $KNO_3$ ), na indução ou liberação de dormência e germinação de sementes de biótipos de azevém sensível e resistente ao glifosato.

### 5.3 Material e Métodos

Sementes de biótipos de *L. multiflorum* resistente e sensível ao glifosato foram coletadas em outubro de 2018, em campo experimental da Embrapa Trigo - Passo Fundo/RS (28° 13' 52.78" S, 52 ° 24' 13.827" W), e armazenadas em sacos de papel em condições ambientais, até o momento da instalação dos experimentos. As sementes de azevém foram coletadas quando atingiram seu ponto de colheita, as espigas foram debulhadas e as sementes foram classificadas (sementes com tamanho maior que ao menos metade do tamanho do lema foram consideradas – sementes vazias, verdes e pequenas, retiradas).

A viabilidade inicial de sementes testada por coloração de tetrazólio (BRASIL, 2009) foi de aproximadamente 90% para as duas populações (biótipo resistente e biótipo sensível ao glifosato). Deste modo, realizaram-se dois experimentos de forma vertical, primeiramente, testes de laboratório e após as avaliações de reguladores de crescimento selecionados na primeira etapa, em casa de vegetação.

O teste de germinação foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) da Universidade de Passo Fundo, em novembro de 2018. Os reguladores de crescimento vegetal selecionados foram, ácido abscísico (ABA), ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), ácido indolacético (AIA), 6-benzilaminopurina (BAP), fluridone (um inibidor da fitoenodessaturase na via de biossíntese de carotenóides e, portanto, da biossíntese de ABA), paclobutrazol (um inibidor da ent-kaureno oxidase, no início da via de biossíntese de GA) e diniconazole (um inibidor da enzima de catabolização de ABA, ABA 8'-hidroxilase), com e sem a adição de KNO<sub>3</sub> (nitrato de potássio). Os reguladores de crescimento foram aplicados exogenamente em sementes de dois biótipos de azevém, um resistente e outro sensível ao glifosato. As doses utilizadas no estudo foram 0, 5, 10, 20, 40 e 80 µM, para cada um dos reguladores de crescimento vegetal.

As sementes utilizadas, em cada tratamento foram distribuídas em duas folhas de papel mata borrão umedecido, contido em gerbox, com a quantidade de 2,5 vezes o seu peso com solução, submetidas ao pré-esfriamento à temperatura de 5°C e fotoperíodo de

12 h por sete dias. Analisou-se separadamente cada reguladores de crescimento vegetal utilizado esquema trifatorial, sendo os biótipos de azevém (resistente e sensível ao glifosato) x doses de reguladores de crescimento x KNO<sub>3</sub> (presença ou ausência) em delinemaneto inteiramente casualizado, com quatro repetições (*gerbox*) de 25 sementes, totalizando 100 sementes por tratamento.

Após o período de estratificação as sementes de biótipos resistente e sensível de azevém foram transferidas ao germinador (Mangelsdorf, DeLeo), em temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 h. A germinação de sementes (definida como protrusão de raiz primária do revestimento da semente) foi avaliada aos cinco (primeira contagem) e 14 dias (última contagem), após o início do teste. Sementes mortas ou vazias, que colapsaram após compressão suave com uma pinça foram consideradas como sementes mortas; sementes consideradas dormentes (duras, por compressão suave de pinça) foram avaliadas pelo teste de tetrazólio, de acordo com as Regras de Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). No teste de tetrazólio, foram consideradas viáveis as sementes que possuíam o embrião com coloração avermelhada a rósea, as quais foram contabilizadas no percentual de dormentes; já sementes com embrião cinza (não colorido), consideradas mortas foram adicionadas à porcentagem de sementes mortas. As variáveis analisadas foram plântula normal, plântula anormal, semente dormente, morta e vigor pela primeira contagem do teste de germinação (BRASIL, 2009).

Para consolidação de resultados obtidos *in vitro* foram selecionados três reguladores de crescimento para testes em semente no solo. Assim, em janeiro de 2019, os hormônios ABA (doses de 300 e 6000 µM), GA<sub>3</sub> (30, 300, 3000 e 6000 µM) e fluridone (30, 300, 3000 µM) foram aplicados em sementes de azevém de biótipos resistente e sensível, e uma testemunha sem aplicação, avaliados em casa de vegetação. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em esquema bifatorial, sendo os biótipos de azevém (resistente e sensível) x doses de reguladores de crescimento, com quatro repetições.

A unidade experimental correspondeu a copos plásticos com capacidade para 500 mL, preenchidos com solo (Latossolo Vermelho distrófico húmico), vermiculita e

substrato na proporção 1:1:1, nos quais foram semeadas dez sementes de azevém por copo. As sementes foram colocadas na superfície do substrato e as soluções contendo os tratamentos foram borrifadas imediatamente sobre as sementes ( $\pm 1,0$  mL de solução, transformado de 150 L/ha de volume de aplicação). A seguir, as sementes foram cobertas com uma camada fina de solo peneirado. Os copos foram mantidos em casa de vegetação com irrigação manual a cada dois dias. O número de plantas emergidas foi contabilizado semanalmente aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação, momento em que esta permaneceu constante.

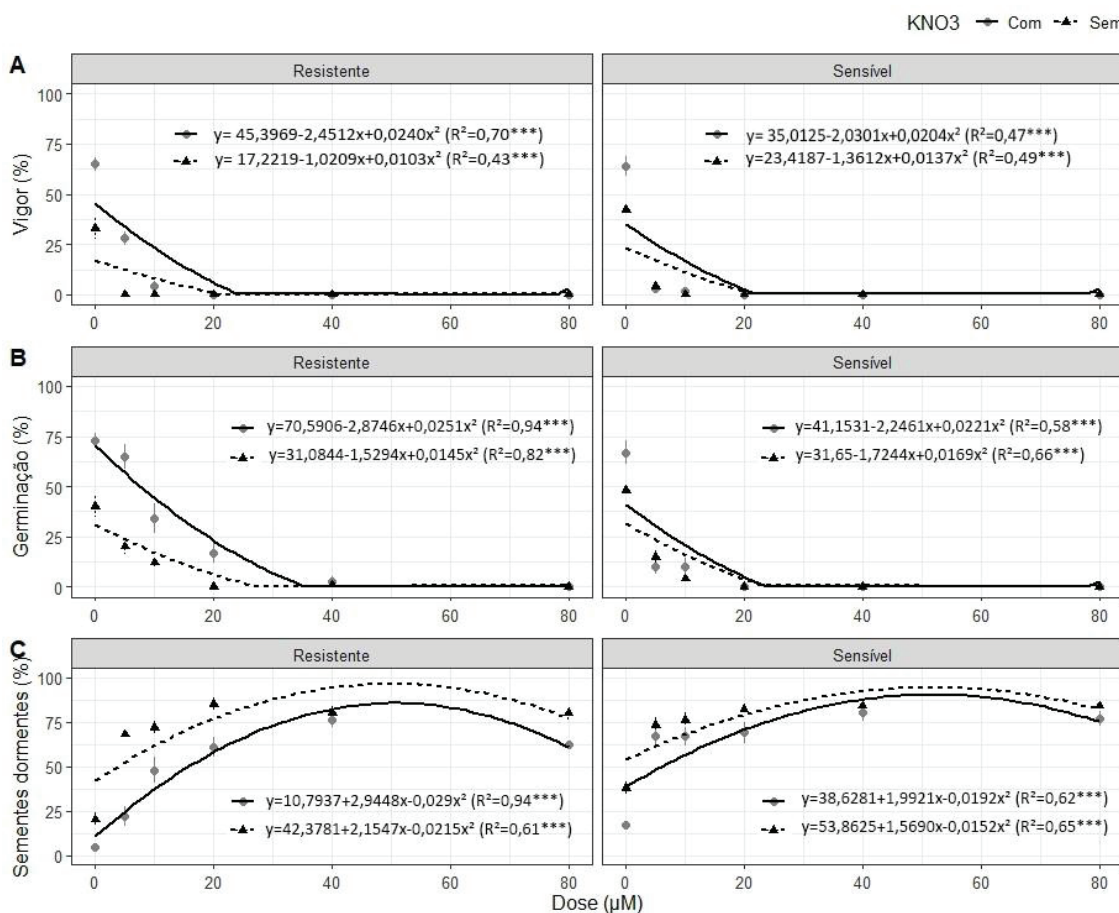
Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e quando constatada significância a análise foi complementada com análise de regressão para o fator quantitativo (doses do regulador) pelo software RStudio (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

#### **5.4 Resultados e Discussão**

Os resultados evidenciaram que o tratamento de sementes com diferentes concentrações de ácido abscísico (ABA) reduziu a germinação e o vigor de sementes de azevém, independentemente de essas serem de biótipo resistente ou sensível ao glifosato e tanto em ausência quanto em presença de nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) na solução. Sementes de biótipos resistente e sensível ao glifosato diferiram quanto à germinação e à adição de  $\text{KNO}_3$  na solução (Figura 8) (Apêndice V). A inibição de germinação foi de 100% a partir da dose de  $20 \mu\text{M}$  de ABA no biótipo sensível e para o biótipo resistente necessitou de praticamente o dobro de ABA ( $40 \mu\text{M}$ ) para atingir uma inibição total. O  $\text{KNO}_3$  parece reduzir os efeitos de ABA, quando comparado na sua presença ou ausência. Um efeito semelhante foi observado em *Arabidopsis*, em que vapores do nitroprussiato de sódio (SNP) diminuíram a sensibilidade de sementes ao ABA exógeno, reduzindo assim seus efeitos inibitórios pela liberação de óxido nítrico (NO), liberado por compostos químicos como o SNP e  $\text{KNO}_3$  (BETHKE; LIBOUREL; JONES, 2006).

O vigor em ambos os biótipos de azevém foi reduzido em 100% com a dose de 20  $\mu\text{M}$  de ABA (Figura 8A). O vigor de sementes é uma propriedade complexa que determina seu potencial de emergência rápida e desenvolvimento uniforme sob uma ampla gama de condições de campo (RAJJOU et al., 2012).

Figura 8 - Vigor, germinação e dormência (%) de sementes<sup>1</sup> de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de ácido abscísico (ABA), sem e com 0,2% nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) na solução. Passo Fundo/RS, 2019



<sup>1</sup> Incubação da semente em temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 h por 14 dias. A protrusão de raiz primária (2 mm) foi utilizada como critério para o final do teste de germinação. Significância: \* 5%, \*\* 1% e \*\*\* 0,1% de probabilidade.

Para ambos os biótipos de azevém com e sem adição de  $\text{KNO}_3$  observou-se respostas quadráticas de vigor, germinação e de sementes dormentes com o aumento da dose de ABA (Figura 8). Em *Lolium rigidum* Gaud. o aumento da dose de ABA reduziu

a germinação de sementes e na concentração de 50  $\mu\text{M}$  inibiu completamente a germinação (GOGGIN et al., 2009).

Em sementes de alfaca o ABA aplicado exogenamente inibiu notavelmente a germinação, chegando a zero com 30  $\mu\text{M}$  de ABA na solução (ARGYRIS et al., 2008; DONG et al., 2012). Quando o ABA é adicionado aos substratos de germinação, ele inibe a germinação de sementes reprimindo o alongamento do eixo embrionário e limitando o crescimento potencial do embrião (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; BELIN et al., 2009).

A dormência de sementes em presença de ABA aumentou gradativamente, com o aumento de dose, e estabilizou em doses mais altas. Doses baixas de ABA (10  $\mu\text{M}$ ) já demonstraram efeitos positivos para manter a dormência em sementes de azevém recém colhidas (Figura 8C). Os dois biótipos, independente de presença ou ausência de  $\text{KNO}_3$ , seguem o mesmo padrão quadrático de curva (Figura 8C). Sarath et al. (2006) relataram que o ABA (10  $\mu\text{M}$ ) inibiu o alongamento radicial e interrompeu a emergência de coleótilos de *Panicum virgatum*. ABA também é o principal inibidor de germinação de *Taxus yunnanensis* e *Helianthus annuus* (EL-MAAROUF-BOUTEAU et al., 2015; BIAN et al., 2018).

A partir da dose 20  $\mu\text{M}$  o efeito de ABA é evidente na inibição de germinação de sementes recém colhidas. A presença de  $\text{KNO}_3$ , parece ter neutralizado ou diminuído o efeito inibitório de ABA em doses mais baixas. Em *Arabidopsis* o nitrato reduziu os níveis de ABA em sementes embebidas quando incluído no meio de germinação e também reduziu os níveis de ABA em sementes secas quando fornecidas à planta-mãe durante o desenvolvimento das sementes (MATAKIADIS et al., 2009), isso demonstra que o nitrato anula parcialmente os efeitos de ABA (reduzindo o nível de ABA em sementes – nitrato induz a expressão gênica que codifica a principal enzima catabólica de ABA, ABA 8'-hidroxilase) (KUSHIRO et al., 2004; OKAMOTO et al., 2006), como ocorrido nesta pesquisa.

A aplicação de ABA também funciona durante a maturação do trigo, o hormônio reduziu a germinação na espiga (SCHRAMM et al., 2013). Este inibidor poderia ser usado para aumentar a dormência de sementes de trigo, pois uma maior porcentagem de sementes dormentes está associada a uma tolerância maior à germinação em pré-colheita. Acredita-se que ABA e as giberelinas ( $GA_3$ ) tenham uma relação antagônica durante a germinação de sementes, nas quais o ABA inibe a atividade de hidrolases e com isso impede a germinação (DONG et al., 2012).

ABA e  $GA_3$  regulam o processo de germinação de sementes de maneira antagônica, e ambos os fito-hormônios também suprimem a biossíntese um do outro (SEO et al., 2006, SHU et al., 2016). Por isso, o ABA é conhecido como um inibidor de germinação enquanto que o  $GA_3$  um estimulador de germinação de sementes em várias espécies (FINKELSTEIN et al., 2008; WEITBRECHT et al., 2011; NONOGAKI, 2014; SHU et al., 2016; ZHANG et al., 2017). As funções de giberelinas são estimular a síntese de hidrolases e induzir a atividade gênica responsável pela produção de  $\alpha$ -amilase e proteases necessárias para a mobilização de reservas em sementes (AHMED NIMIR et al., 2014).

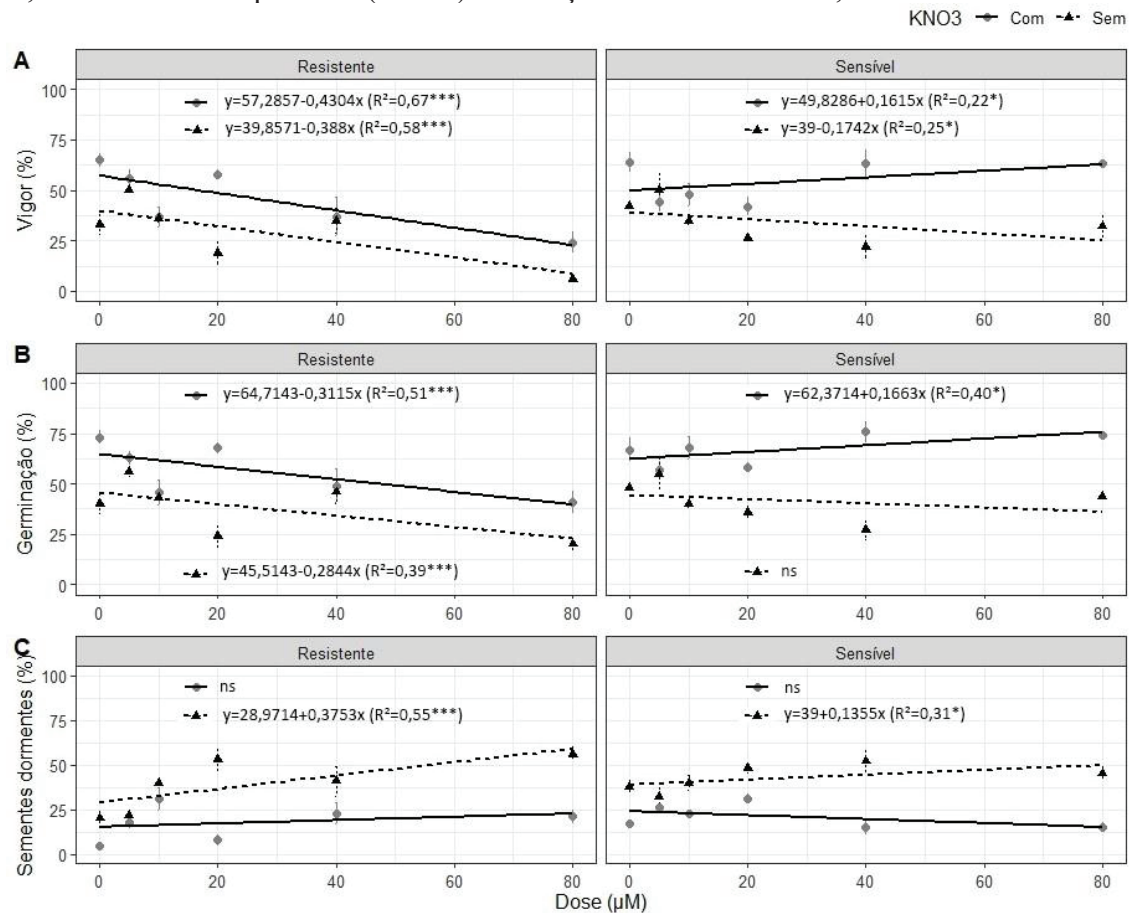
O aumento de dose de  $GA_3$  ocasionou redução no vigor de sementes de azevém de biótipos resistente e sensível ao glifosato, sendo esta uma resposta linear negativa (Figura 9A). A presença de  $KNO_3$  na solução contendo  $GA_3$  aumentou o vigor de sementes de biótipo de azevém sensível ao glifosato, com isso, a aplicação exógena de  $GA_3+KNO_3$  poderia, em tese, aumentar a emergência de plantas em momentos menos favoráveis da planta daninha ou para a aplicação oportuna de herbicida.

Com o aumento de dose de  $GA_3$  no biótipo sensível, em presença de  $KNO_3$  houve um aumento linear de germinação de sementes de azevém (Figura 9B). Por outro lado, no biótipo resistente,  $GA_3$  reduziu a germinação de sementes. O ABA exógeno foi um inibidor eficiente de germinação de sementes, enquanto o  $GA_3$ , que estimula a germinação em uma variedade ampla de espécies, foi ineficaz ou mesmo ligeiramente inibitório em sementes de *L. rigidum* (GOGGIN et al., 2009).



A presença de  $\text{KNO}_3$  aumentou a germinação, para os dois biótipos (Figura 9). O nitrato é conhecido por ser um estimulador de germinação para uma ampla variedade de espécies de plantas (LUNA; MORENO, 2009), capaz de estimular a germinação de sementes em baixas concentrações em *Arabidopsis thaliana* (ALBORESI et al., 2005), *Sisymbrium officinale* (DERKX; KARSSSEN, 1993), *Avena fatua* L. (HILTON, 1984) e *Hordeum distichum* (WANG et al., 1998). O nitrato também pode inibir a germinação de sementes de algumas espécies, como por exemplo *Achillea ageratum* e *Salvia verbenaca* (LUNA; MORENO, 2009; BOUDELL; STROMBERG, 2015), mesmo em concentrações baixas (PONERT et al., 2013).

Figura 9 - Vigor, germinação e dormência (%) de sementes<sup>1</sup> de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), sem e com 0,2% de nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) na solução. Passo Fundo/RS, 2019



<sup>1</sup> Incubação da semente em temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 h por 14 dias. A protrusão de raiz primária (2 mm) foi utilizada como critério para o final do teste de germinação. Significância: \* 5%, \*\* 1% e \*\*\* 0,1% de probabilidade.

A dormência de sementes nos dois biótipos de azevém, aumentou com o incremento na dose de GA<sub>3</sub> (Figura 9C), porém com a adição de KNO<sub>3</sub> não foram constatadas diferenças significativas de dormência (Apêndice V). Este resultado reforça o papel de KNO<sub>3</sub> como um agente que pode neutralizar tanto o efeito promotor como inibitório de reguladores de crescimento como o ABA e GA<sub>3</sub> sobre a dormência. Importante ressaltar que esse efeito é mais aparente em doses menores de reguladores.

As citocininas regulam a dormência e a germinação de sementes, provavelmente mediando o equilíbrio ABA/GA (SHU et al., 2016). 6-benzilaminopurina (BAP) é uma citocinina sintética, comumente utilizada em cultura de tecidos e conhecida por acelerar a germinação de sementes (SÁNCHEZ et al., 2005). Para a variável vigor, a análise de variância (Apêndice V) mostrou interação apenas para o fator KNO<sub>3</sub> (presença ou ausência) e doses de reguladores de crescimento. BAP+KNO<sub>3</sub> aplicado exogenamente, mostrou efeito quadrático nas doses definidas em relação ao vigor de sementes (Figura 10).

BAP não afetou a germinação de sementes de azevém sensível, enquanto que no biótipo resistente mostrou resposta quadrática (com inflexão máxima da curva entre 40 e 60 µM) com o aumento da dose. O regulador aumentou a germinação de sementes de azevém resistente (sem KNO<sub>3</sub>) (Figura 11A). Em milho, BAP acelera o processo de germinação (CRUZ-GARCÍA; ZÚÑIGA-AGUILAR; VÁZQUEZ-RAMOS, 1998; SÁNCHEZ et al., 2005). As citocininas promovem a germinação de sementes antagonizando o ABA, especificamente pela regulação negativa da transcrição de genes específicos (WANG et al., 2011).

BAP não tem efeito na dormência de sementes de azevém sensível (sem KNO<sub>3</sub>), com a adição de KNO<sub>3</sub> a dormência tem um efeito redutivo. Um estudo anterior em *Arabidopsis thaliana* demonstrou que BAP antagoniza o efeito inibitório de ABA na germinação (GUAN et al., 2014).

Figura 10 - Vigor (%) de sementes de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de 6-benzilaminopurina (BAP), sem e com 0,2% de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) na solução. Passo Fundo/RS, 2019

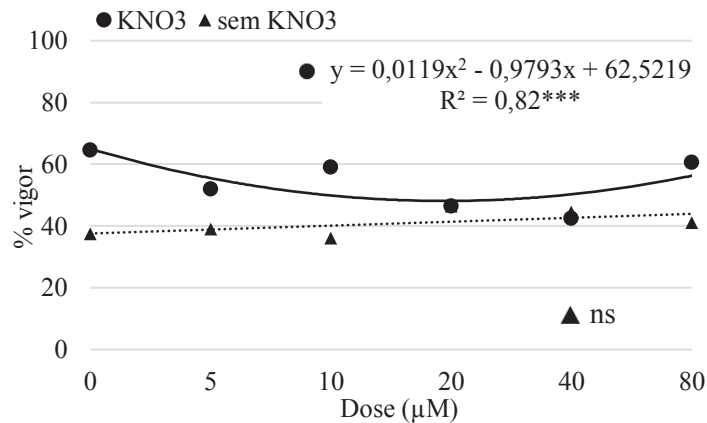
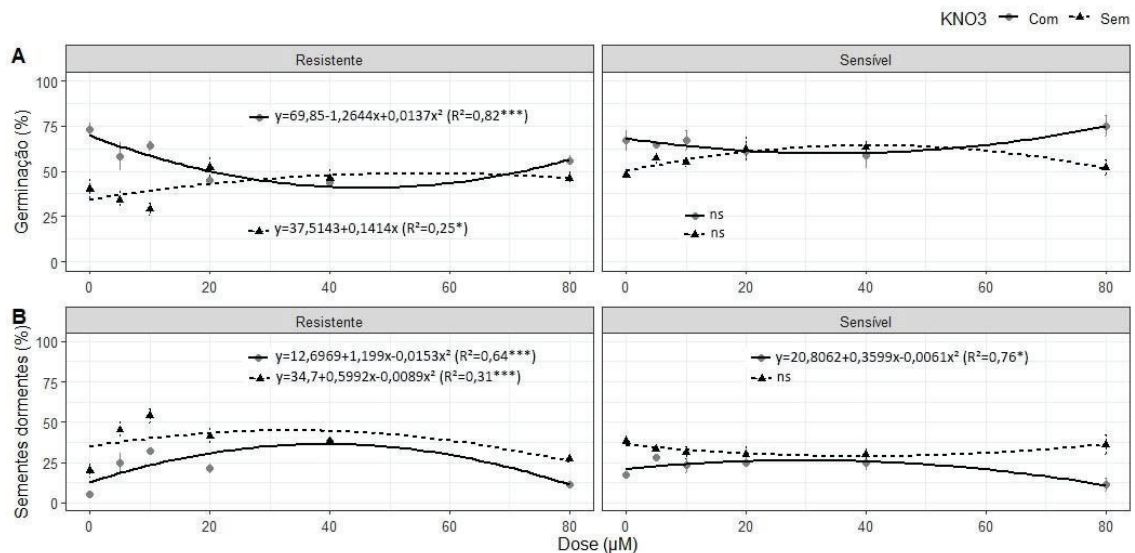


Figura 11 - Germinação e dormência (%) de sementes<sup>1</sup> de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de 6-benzilaminopurina (BAP), sem e com 0,2% de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) na solução. Passo Fundo/RS, 2019



<sup>1</sup> Incubação da semente em temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 h por 14 dias. A protrusão de raiz primária (2 mm) foi utilizada como critério para o final do teste de germinação. Significância: \* 5%, \*\* 1% e \*\*\* 0,1% de probabilidade.

Para o biótipo resistente, a adição de  $\text{KNO}_3$  acarretou em quantidade menor de sementes dormentes em relação à ausência de  $\text{KNO}_3$  (Figura 11B). Na avaliação de dormência das sementes, o aumento da dose de BAP no biótipo resistente, mostrou efeito quadrático para com e sem a adição de  $\text{KNO}_3$ . No biótipo sensível o efeito quadrático ocorreu somente com a adição de  $\text{KNO}_3$ .

O ácido indolacético (AIA) é um dos fitohormônios clássicos eficazes durante o crescimento e a diferenciação tecidual. Estudos recentes, no entanto, mostraram que a auxina possui efeito potencializador na dormência de sementes e sugerem que esse fitohormônio é o segundo que induz a dormência de sementes (LI et al., 2016; SHUAI et al. 2017).

Em nosso estudo, AIA não afetou o vigor e germinação de sementes de azevém sensível, mas com a adição de  $\text{KNO}_3$  o vigor e a germinação aumentaram (Figura 12). Nas sementes de *Sisymbrium officinale*, o nitrato promove a expansão celular no embrião e induz a ruptura da matriz, o que acelera a absorção de água (TOOROP, 2015), e essa pode significar a principal função do nitrato na germinação.

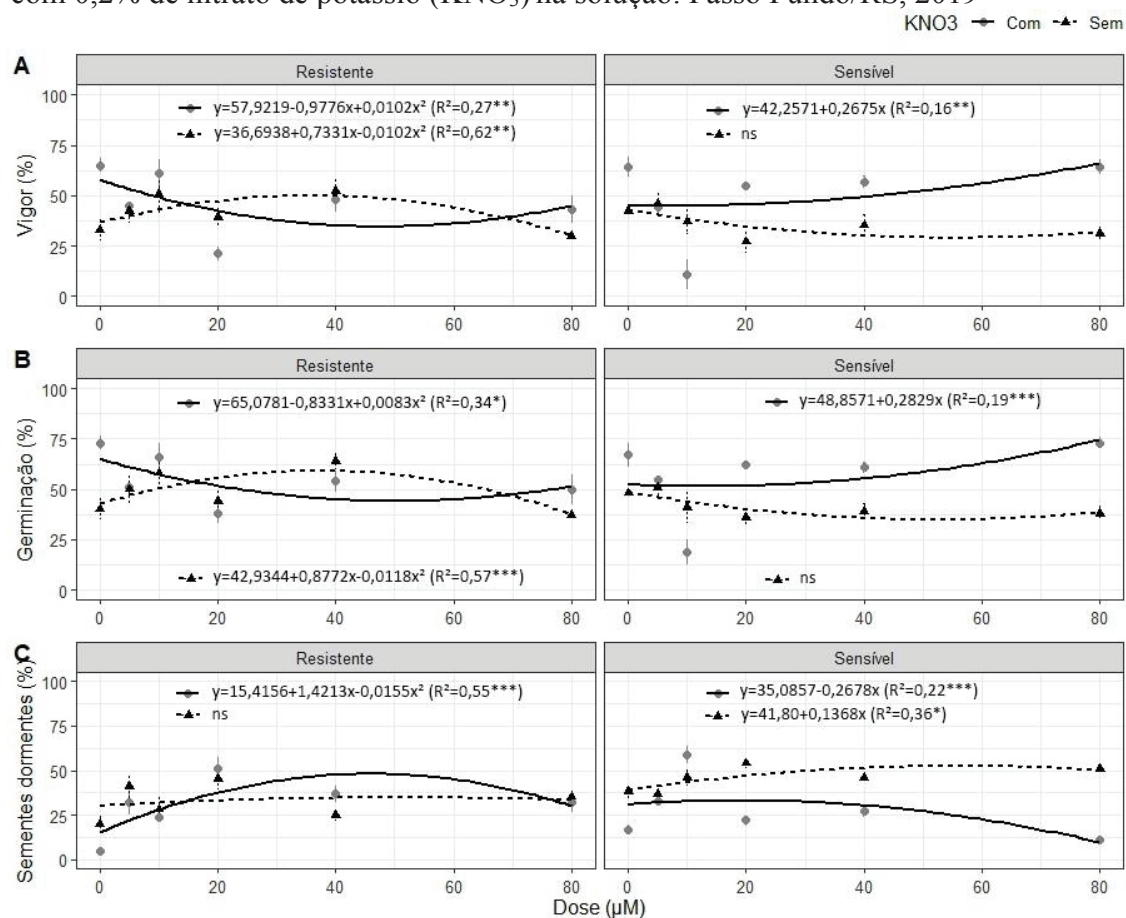
Sementes de tabaco embebidas em solução (1 g/L) de AIA apresentaram uma germinação acentuadamente reduzida em comparação com as embebidas em solução de 0, 10 e 100 mg/L de AIA (LI et al., 2016). A velocidade de germinação de sementes de soja tratadas com AIA foi duas a três vezes mais lenta (SHUAI et al., 2017). De fato, a utilização de doses mais altas, talvez revelariam resultados mais claros para esse estudo, segundo os autores citados acima.

Para o biótipo resistente, a resposta para o aumento da dose, na germinação e vigor, foi quadrática. O comportamento quadrático se repete com a adição de  $\text{KNO}_3$  (Figura 12A e 12B).

O hormônio AIA, aumentou a dormência de sementes de azevém sensível (Figura 12C) e AIA+ $\text{KNO}_3$  reduziram a dormência. AIA não afetou a dormência de azevém resistente, mas quando se adiciona  $\text{KNO}_3$ , a dormência é afetada negativamente (Figura

12C). O tratamento com auxina exógena regulou negativamente o processo de germinação de sementes de soja, retardando a ruptura do revestimento de sementes e reprimindo a protrusão radicular e regulando negativamente a biossíntese de giberelinas (SHUAI et al., 2017). Em trigo, o AIA exógeno inibiu efetivamente a germinação na espiga (RAMAIIH; GUEDIRA; PAULSEN, 2003).

Figura 12 - Vigor, germinação e dormência (%) de sementes<sup>1</sup> de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de ácido indolacético (AIA), sem e com 0,2% de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) na solução. Passo Fundo/RS, 2019



<sup>1</sup> Incubação da semente em temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 h por 14 dias. A protrusão de raiz primária (2 mm) foi utilizada como critério para o final do teste de germinação. Significância: \* 5%, \*\* 1% e \*\*\* 0,1% de probabilidade.

O AIA parece mediar a biossíntese de ABA e GA<sub>3</sub> através da regulação da expressão dos respectivos genes biossintéticos, genes de sinalização e genes catabólicos (SHUAI et al., 2017). Por outro lado, a concentração de ABA nas sementes de soja tratadas com AIA durante a embebição aumentou significativamente (SHUAI et al.,

2017). O significado desse efeito é que a razão ABA/GA é um fator chave para a germinação de sementes (FINKELSTEIN et al., 2008; SHU et al., 2016).

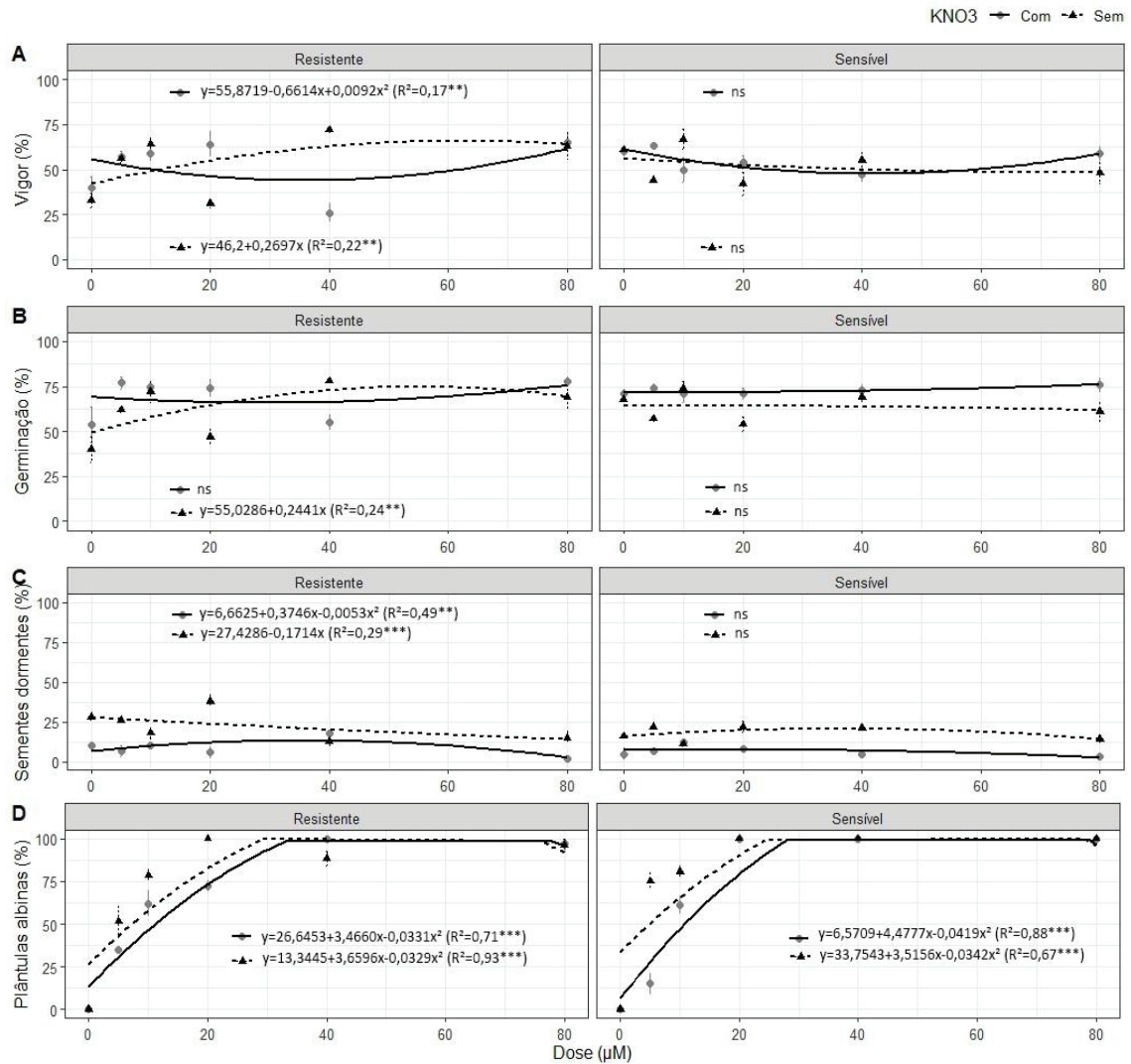
O fluridone é um inibidor da biossíntese de carotenoides, que evita a biossíntese de ácido abscísico, assim, libera a dormência de sementes na maioria das ocasiões (NÉE; XIANG; SOPPE, 2017). Contudo, fluridone não afetou o vigor, germinação e dormência de sementes de azevém sensível (Figura 13), mas com o aumento da dose (acima de 30  $\mu\text{M}$ ), em compensação, o herbicida deixa as plântulas 100% albinas, incapacitando-as de continuar seu desenvolvimento (Figura 13D).

No biótipo resistente (sem  $\text{KNO}_3$ ) com o aumento da dose houve acréscimo da germinação. Em *Lolium rigidum* o fluridone estimulou a germinação das sementes chegando a níveis próximos a 100% (teste *in vitro*), e semelhante a este estudo, as plântulas germinadas não foram capazes de sintetizar clorofila funcional (GOGGIN et al., 2009), demonstrando o efeito do produto na síntese de carotenóides e clorofila (FLETCHER; MERU; BHARDWAJ, 1984). O mesmo efeito de fluridone em tornar as plântulas albinas foi observado em sementes de arroz vermelho (GIANINETTI; VERNIERI, 2007) e alface (DONG et al., 2012).

Para o biótipo resistente, fluridone aumentou o vigor e a germinação (Figura 13A e 13B). A adição de  $\text{KNO}_3$  não mostrou efeito na germinação (Figura 13B). Plântulas de trigo, canola, feijão e grão de bico semeadas no solo tratado com fluridone foram branqueadas e não sobreviveram, mas tremoços e ervilhas cresceram normalmente (GOGGIN; POWLES, 2014).

Fluridone reduz a dormência de sementes de azevém resistente ao glifosato, em doses superiores a 40  $\mu\text{M}$  (Figura 13C). A porcentagem de plantas albinas aumenta e estabiliza em doses maiores. As plântulas que germinaram a partir de sementes de azevém pulverizadas com fluridone foram branqueadas e a maioria não sobreviveu para produzir a terceira folha.

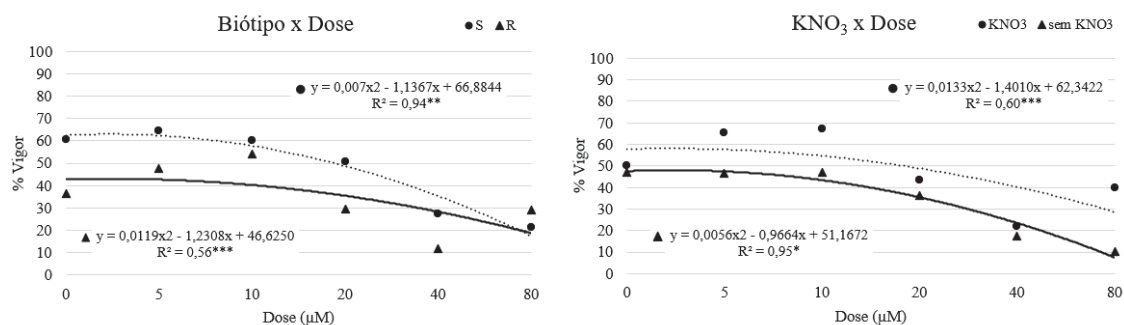
Figura 13 - Vigor, germinação, dormência de sementes<sup>1</sup> e plântulas albinas (%) de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de fluridone, sem e com 0,2% de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) na solução. Passo Fundo/RS, 2019



<sup>1</sup> Incubação da semente em temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 h por 14 dias. A protrusão de raiz primária (2 mm) foi utilizada como critério para o final do teste de germinação. Significância: \* 5%, \*\* 1% e \*\*\* 0,1% de probabilidade.

Diniconazole não mostrou significância para a interação trifatorial, nas avaliações de vigor e germinação (Apêndice V). Para vigor, as interações bifatoriais foram significativas para: biótipos (resistente e sensível) X doses e KNO<sub>3</sub> (presença ou ausência) X doses (Figura 14).

Figura 14 - Vigor (%) de sementes de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de diniconazole, sem e com 0,2% de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) na solução. Passo Fundo/RS, 2019



De modo geral, diniconazole reduziu o vigor das sementes de azevém, conforme aumentou-se a dose, demonstrando efeito quadrático para ambos os casos. A presença de KNO<sub>3</sub> na solução reduziu os efeitos de diniconazole em relação a sua ausência (Figura 14).

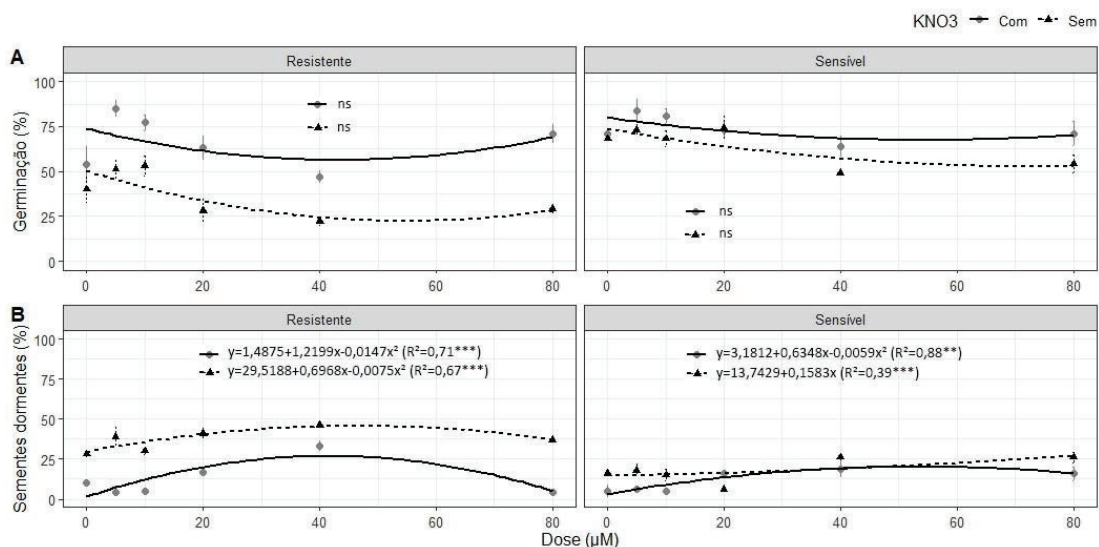
Em um estudo semelhante, diniconazole na dose de 50 µM, inibiu a germinação de sementes de *L. rigidum* Gaud. em 70 a 85% (GOGGIN et al., 2009). Todavia, em outro estudo, observou-se que a 20°C e à luz, diniconazole a 1–100 µM não afetou a germinação de sementes de alface (DONG et al., 2012).

Com o aumento da dose de diniconazole, a dormência das sementes sensíveis aumentou (Figura 15). Em *Arabidopsis* e alface a aplicação de diniconazole também aumentou a dormência das sementes (LIU et al., 2009; DONG et al., 2012).

No azevém resistente, a adição de KNO<sub>3</sub> reduziu a dormência das sementes em comparação com a ausência de KNO<sub>3</sub> (Figura 15B). O comportamento do aumento de dose foi semelhante para com e sem KNO<sub>3</sub>, com um leve aumento da dormência até a dose de 40 µM, e diminuição em doses maiores, como a de 80 µM. Liu et al. (2009) relataram que o diniconazole aumentou significativamente a dormência de sementes de *A. thaliana*.



Figura 15 - Germinação e dormência (%) de sementes<sup>1</sup> de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de diniconazole, sem e com 0,2% de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) na solução. Passo Fundo/RS, 2019



<sup>1</sup> Incubação da semente em temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 h por 14 dias. A protrusão de raiz primária (2 mm) foi utilizada como critério para o final do teste de germinação. Significância: \* 5%, \*\* 1% e \*\*\* 0,1% de probabilidade.

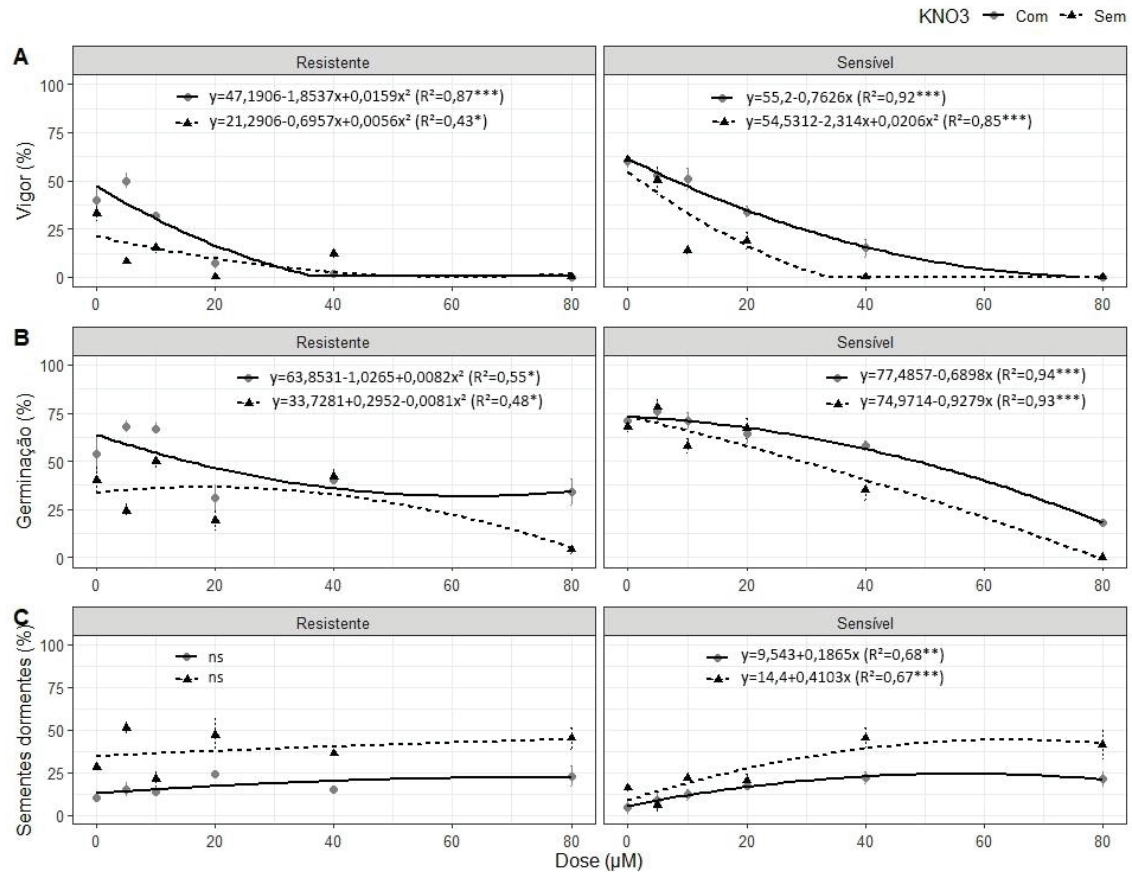
Paclobutrazol reduziu o vigor e germinação de sementes de azevém (Figura 16). Na concentração de 50 µM, o mesmo produto inibiu a germinação de sementes de *L. rigidum* em até 85% (GOGGIN et al., 2009). A dose de 40 µM de paclobutrazol reduziu em 100% o vigor de sementes de azevém resistente. Em sementes de soja o paclobutrazol também atrasou o processo germinativo (SHUAI et al., 2017).

Em relação a germinação de sementes, paclobutrazol tem efeito redutor. Na dose de 80 µM, a germinação foi reduzida a zero para os dois biótipos (sem KNO<sub>3</sub>) (Figura 16B). Em alface, a germinação de sementes incubadas com paclobutrazol reduziu conforme aumentou-se a dose do produto, em 50 µM a germinação total foi próxima a zero (DONG et al., 2012). A germinação no biótipo resistente demonstrou comportamento quadrático.

Paclobutrazol não afetou a dormência de sementes de azevém resistente. No biótipo sensível há um acréscimo de dormência conforme aumentou-se a dose do produto (Figura 16C). Com a adição de KNO<sub>3</sub> as sementes de azevém sensível ficaram menos

dormentes, o  $KNO_3$  parece anular o efeito do produto. Foi demonstrado que uma baixa concentração de nitrato leva a uma diminuição do nível de ABA em sementes dormentes de cevada (WANG et al., 1998) e *Arabidopsis* (ALI-RACHEDI et al., 2004) e essa pode ser a explicação de menor dormência em azevém, a redução do nível de ABA por  $KNO_3$ .

Figura 16 - Vigor, germinação e dormência (%) de sementes<sup>1</sup> de biótipos resistente e sensível de azevém em resposta a concentrações de paclobutrazol, sem e com 0,2% de nitrato de potássio ( $KNO_3$ ) na solução. Passo Fundo/RS, 2019



<sup>1</sup> Incubação da semente em temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 h por 14 dias. A protrusão de raiz primária (2 mm) foi utilizada como critério para o final do teste de germinação. Significância: \* 5%, \*\* 1% e \*\*\* 0,1% de probabilidade.

Ao conhecer os principais efeitos de reguladores de crescimento vegetal aplicados em laboratório, os efeitos notáveis deram sequência ao experimento em casa de vegetação. Os hormônios avaliados em casa de vegetação foram ABA, GA<sub>3</sub> pelos seus papéis centrais na regulação da dormência e germinação e fluridone por seu efeito duplo (estimulador e branqueador).

Em casa de vegetação, não foram verificadas diferenças na emergência de plântulas entre as populações resistente e sensível ao glifosato em resposta a aplicação de ABA, GA<sub>3</sub> e fluridone no solo (Apêndice VI).

Aos 7 dias após a aplicação (7 DAP) de ABA, foi evidente o efeito inibitório do regulador de crescimento. As doses de 300 µM e 6000 µM de ABA inibiram 92 e 100%, respectivamente, a emergência de azevém em comparação com a testemunha sem aplicação (Figura 17).

Aos 14 dias após a aplicação (14 DAP), o efeito inibitório de ABA foi mais evidente na dose 6000 µM, inibiu totalmente a emergência de plântulas de azevém. A dose de 300 µM inibiu 62% em comparação com a testemunha. Os efeitos do ABA nas sementes em experimentos laboratoriais e agrícolas mostraram que o ABA pode atrasar a germinação quando aplicado exogenamente em várias espécies (ROMAGOSA et al., 2001; AROCA et al., 2008; GOGGIN et al., 2009; DONG et al., 2012; EL-MAAROUF-BOUTEAU et al., 2015; BIAN et al., 2018), limitando o crescimento potencial do embrião (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006).

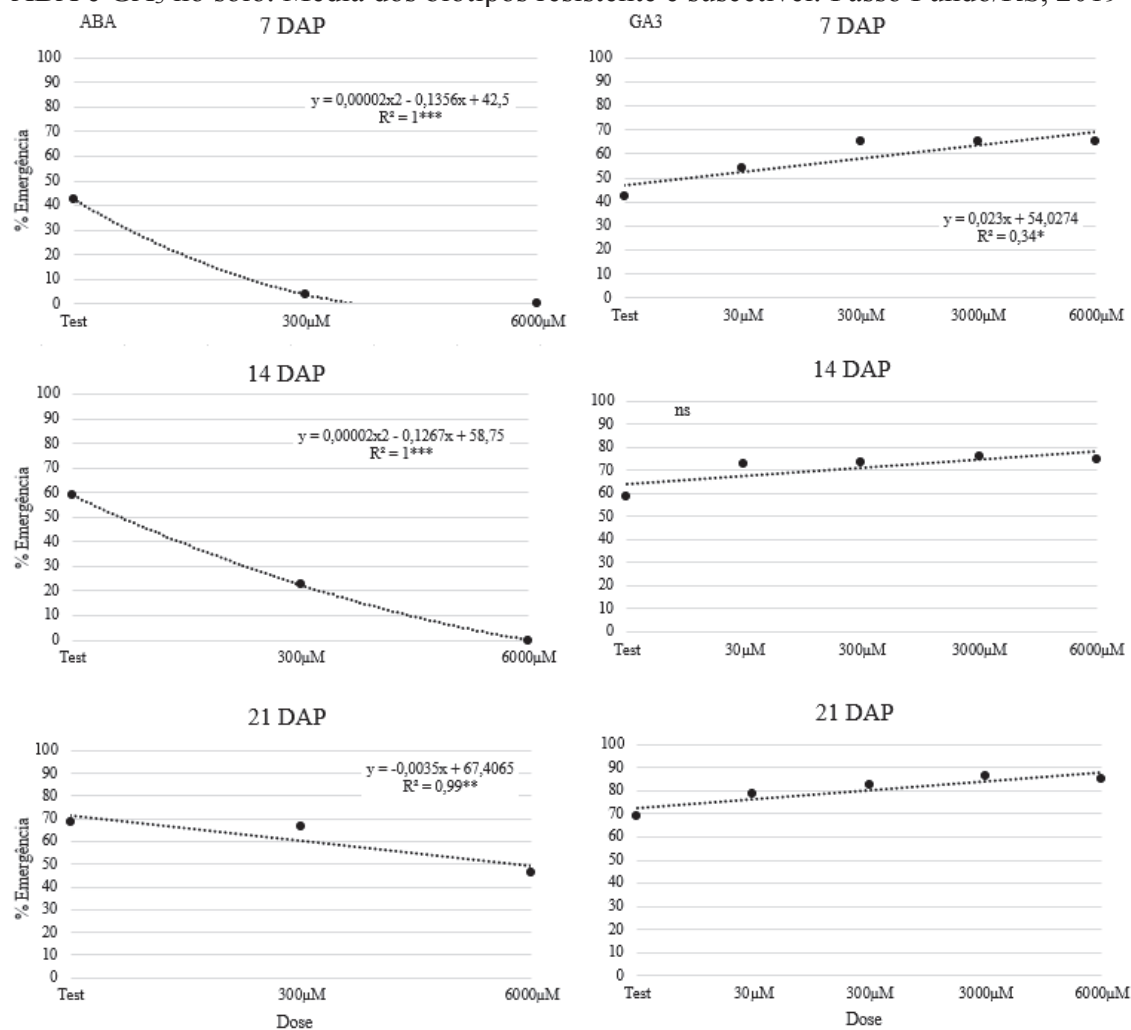
Aos 21 dias após a aplicação (21 DAP), observa-se que o efeito inibitório de ABA foi perdido, esse efeito representado por uma regressão linear negativa (Figura 17).

Resultados semelhantes foram encontrados utilizando ABA no revestimento das sementes de *Pseudoroegneria spicata*, o revestimento contendo o hormônio atrasou a germinação da espécie em mais de 60 dias (RICHARDSON et al., 2019). Sarath et al. (2006) relataram que o ABA (10µM) diminuiu a germinação em aproximadamente 15% de sementes de *Panicum virgatum*, inibindo o alongamento radicular e interrompendo a emergência de coleótilos. Em trigo, o ABA aplicado durante o desenvolvimento da semente, reduziu a germinação na espiga (SCHRAMM et al., 2013).

Os resultados encontrados neste estudo sugerem que o ABA possui efeito temporário e dependente da dose e exige reaplicação do regulador para manter as sementes dormentes no solo. Sugere-se que as aplicações de ABA podem ter o potencial

de re-induzir a dormência das sementes para retardar a germinação das sementes semeadas. Foi proposto em outros trabalhos que para manter a dormência em sementes, é necessária a síntese contínua de ABA (ALI-RACHEDI et al., 2004; KUSUMOTO et al., 2006; FEURTADO et al., 2007).

Figura 17 - Emergência de plântulas de azevém em função da aplicação de doses de ABA e GA<sub>3</sub> no solo. Média dos biótipos resistente e suscetível. Passo Fundo/RS, 2019



O balanço hormonal da germinação é regulado por dois hormônios principais, ABA/GA. ABA e GA regulam o processo de germinação de sementes de maneira antagônica, e ambos os fito-hormônios também suprimem a biossíntese um do outro (SEO et al., 2006; SHU et al., 2016). A giberelina participa da germinação de sementes

(MENG et al., 2016), mas sua aplicação exógena foi pouco estudada. Os resultados encontrados demonstram que apenas na avaliação de 7 DAP, o hormônio GA<sub>3</sub> provou efeito positivo para emergência de plântulas e nas demais avaliações não houve diferença significativa entre a testemunha e doses de GA<sub>3</sub> na emergência de plântulas (Figura 17).

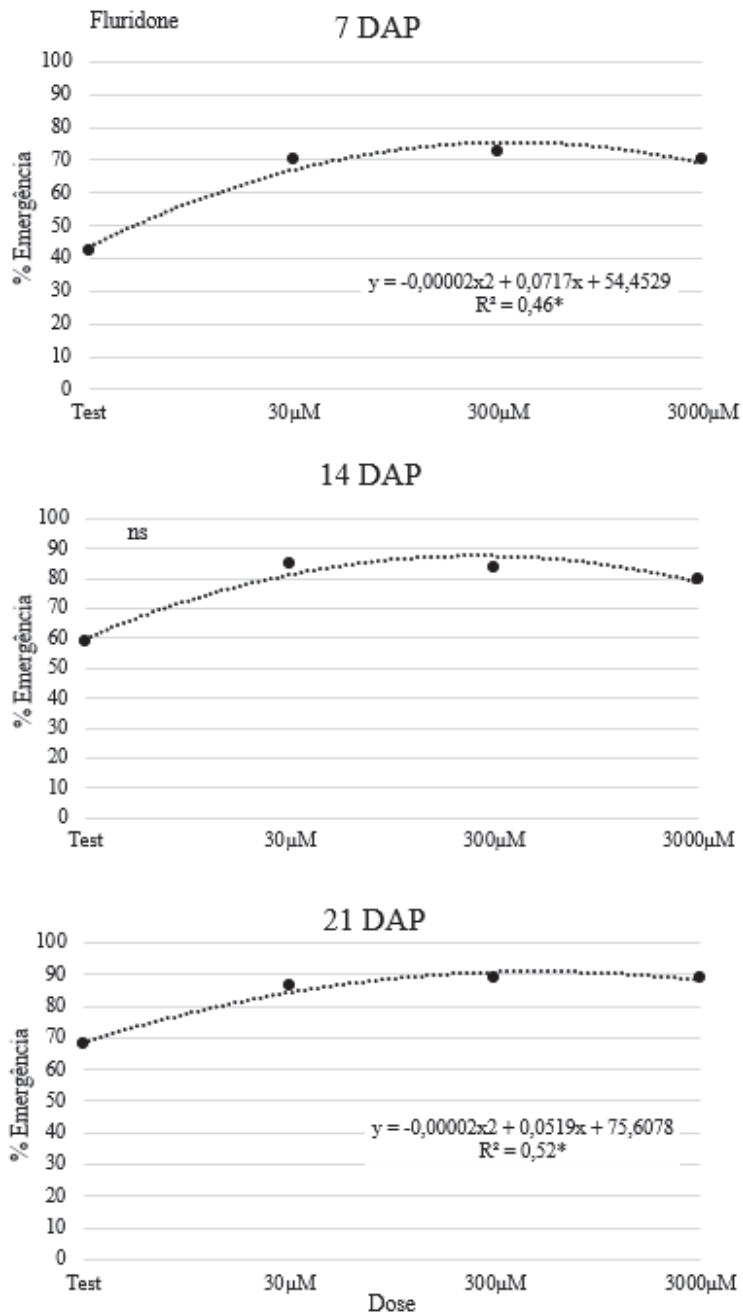
Aos 7 DAP, a aplicação de GA<sub>3</sub> aumentou a emergência de plântulas de azevém, com efeito linear. Essa germinação inicial rápida, pode ser comparada ao vigor de sementes, uma propriedade complexa das sementes que determina seu potencial de rápida e uniforme emergência (RAJJOU et al., 2012). As giberelinas estimulam a síntese de hidrolases e induzem a atividade gênica responsável pela produção de  $\alpha$ -amilase e proteases necessárias para a mobilização de reservas (AHMED NIMIR et al., 2014). Em *Lolium rigidum*, a aplicação exógena de GA<sub>3</sub>, foi ineficaz ou mesmo ligeiramente inibitório da germinação de sementes (GOGGIN et al., 2009).

No ensaio realizado à campo, o fluridone estimulou a emergência de plântulas de azevém no solo (Figura 18). O efeito estimulante observado na avaliação de 7 DAP, mostrou resposta quadrática com o aumento da dose. O efeito estimulante foi de 27, 30 e 28% para as doses 30  $\mu$ M, 300  $\mu$ M e 3000  $\mu$ M, respectivamente, em relação à testemunha.

Aos 21 DAP, a resposta à emergência de plântula segue quadrática. A germinação atingiu 89% nas doses de 300 e 3000  $\mu$ M. O efeito estimulatório da germinação de fluridone também foi relatado em azevém rígido (GOGGIN et al., 2009), alface (DONG et al., 2012) e soja (SHUAI et al., 2017). O tratamento com fluridone, um inibidor da biossíntese de carotenóides que evita a biossíntese de ABA, libera a dormência das sementes na maioria das ocasiões, incluindo dormência primária profunda (NÉE et al. 2017).

Em panículas jovens de sorgo, fluridone reduziu o conteúdo de ABA nos grãos e antecipou a liberação de dormência, fazendo com que uma linhagem resistente a germinação se comportasse como uma suscetível à germinação (STEINBACH; BENECH-ARNOLD; SANCHEZ, 1997), assegurando que o estímulo da germinação está ligado à redução do nível de ABA na semente.

Figura 18 - Emergência de plântulas de azevém em função da aplicação de doses de fluridone no solo. Média dos biótipos resistente e suscetível. Passo Fundo/RS, 2019



O efeito de branqueamento foi observado na dose de 300 µM e 3000 µM já na avaliação de 7 DAP. As plântulas germinadas não foram capazes de sintetizar clorofila, como indicado pela aparência branqueada (FLETCHER; MERU; BHARDWAJ, 1984).

A emergência de plântulas albinas e assim incapazes de obter estabelecimento normal, pode ser uma alternativa de controle de azevém.

A aplicação exógena de hormônios pode ser uma ferramenta auxiliar no controle de plantas daninhas resistentes a herbicidas. Ter controle da germinação pode ser benéfico no manejo principalmente de espécies que possuem dormência e podem escalonar sua germinação na cultura de interesse econômico.

A aplicação exógena de ABA no solo, atrasa a geminação de sementes, mantendo-as sob exposição constante para predação e degradação e concedendo uma vantagem competitiva a cultura. Já o estímulo uniforme da germinação é favorável no controle de plantas daninhas, pois promove a germinação em sincronia e uma maior quantidade de plantas podem ser controladas em um momento mais apropriado e assim, reduzir/esgotar o banco de sementes da espécie.

## **5.5 Conclusões**

A aplicação exógena de ácido abscísico (ABA) inibe a germinação de sementes de azevém. No solo o efeito inibitório de ABA é perdido aos 21 dias após a aplicação, indicando a necessidade de reaplicação.

$\text{KNO}_3$  estimula a germinação na maioria dos casos e anula parcialmente os efeitos inibitórios de ABA.

Fluridone estimula a germinação de sementes de azevém no solo.

Paclobutrazol inibe a germinação de sementes de azevém em 100%, na dose de 80  $\mu\text{M}$ .

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os herbicidas são a base do controle de plantas daninhas em sistemas de produção agrícola. No entanto, novas populações de plantas daninhas resistentes a herbicidas estão evoluindo rapidamente como uma resposta natural à pressão de seleção imposta pelas modernas atividades de manejo. A redução de retorno e sementes presentes no banco de sementes do solo é uma estratégia de controle de plantas daninhas e útil para reduzir o risco de evolução de resistência a herbicidas.

Sabe-se que aplicação de herbicidas pode inibir a produção de sementes e reduzir mais de 80% a viabilidade e o vigor de sementes produzidas. O esgotamento do banco de sementes de plantas daninhas no solo, com a aplicação de herbicidas na planta-mãe (estádio reprodutivo) é, portanto, válido para combater as plantas daninhas, removendo as espécies antes de sua ressemeadura natural.

A aplicação de herbicidas em períodos tardios de desenvolvimento de plantas daninhas é um método alternativo de esgotamento do banco de sementes, que podem ser alcançados visando vários estágios do ciclo de vida das plantas, como visto no Capítulo I, a aplicação em diferentes estádios reprodutivo de azevém foi eficiente e com eficácia diversificada para os herbicidas. Além disso, a redução do peso, viabilidade e germinação de sementes, podem também afetar a presença de espécies vegetais na estação seguinte. Estudos indicaram que o banco de sementes pode ser reduzido em pelo menos 90% dentro de quatro anos se pouca ou nenhuma semente retornar ao solo. Uma vez que as espécies de plantas daninhas são observadas em um estado de floração, uma operação de controle de plantas daninhas pode ser implementada. O conhecimento atual da eficácia dessa prática é limitado a um pequeno número de espécies de plantas daninhas, mecanismos de ação herbicida e doses e pesquisas adicionais são necessárias antes de fazer recomendações adequadas.



A indisponibilidade de todo o espectro de ferramentas e a falta de conhecimento em biologia de plantas daninhas podem limitar os esforços para impedir a produção de sementes de plantas daninhas. O entendimento da dinâmica do banco de sementes no solo é fundamental para o desenvolvimento de sistemas mais eficientes para manejo-lo. Neste trabalho foi comprovado que o azevém escalona sua germinação ao longo do ano e ainda deixa sementes dormentes para posterior germinação. As características de dormência e germinação de sementes do banco de sementes encontradas no Capítulo II, podem ser usadas para prever o momento de emergência de plântulas e executar medidas apropriadas de controle de azevém.

O fato de a germinação de sementes de *L. multiflorum* ser escalonada devido aos níveis de dormência e aos requisitos específicos de germinação em uma população, fazem com que as plantas sobrevivem e reabasteçam o banco de sementes mais uma vez. O atraso de germinação de plantas daninhas com o uso de hormônios pode ser uma estratégia importante nos campos, visando o uso da competitividade das culturas. Já, o estímulo da germinação de plantas daninhas pode também ser uma estratégia interessante, para um controle de maior número de plantas daninhas germinadas e em estágio ideal de controle. A ideia é estimular a germinação e em seguida fazer o controle com herbicida.

O manejo sustentável da resistência a herbicidas requer uma perspectiva de longo prazo, não apenas de uma única estação. Manter baixo o número de sementes de plantas daninhas no banco de sementes do solo reduz o número de plantas que serão expostas ao futuro tratamento com herbicidas e, assim, pode reduzir substancialmente o aparecimento de novos casos de resistência a herbicidas. Portanto, há vantagens em controlar a produção de sementes de plantas daninhas, mesmo que esse manejo não leve a benefícios econômicos diretos na atual temporada.

Esses métodos individuais podem não ser tão eficazes quando aplicados sozinhos, mas podem ser incorporados a um sistema de manejo integrado de banco de sementes no sistema plantio direto.

## **7 CONCLUSÃO**

Em conclusão, este estudo nos fornece informações sobre práticas para redução da quantidade e reposição de sementes no banco de sementes de azevém do solo, como um artifício para evitar a disseminação e evolução de resistência da planta daninha. Aspectos hormonais da germinação descobertos neste estudo podem ser úteis para criação de um produto, que estimule ou iniba a germinação da planta daninha sem afetar a cultura de interesse. Em adição, o conhecimento sobre as diferenças adaptativas entre biótipos de azevém é útil para prever sua germinação e implementar práticas para seu controle.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; TAROUCO, C. P.; LANGARO, A. C.; GOMES, J.; VARGAS, L. Competition between wheat and ryegrass under different levels of nitrogen fertilization. **Planta Daninha**, v. 35, 2017.

AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: AGOSTINETTO, D. VARGAS L. (Ed.). **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Pelotas: UFPEL, 2014. p. 9-32.

AHMED NIMIR, N. E.; LU, S.; ZHOU, G.; MA, B. L.; GUO, W.; WANG, Y. Exogenous hormones alleviated salinity and temperature stresses on germination and early seedling growth of sweet sorghum. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2305, 2014.

ALBORESI, A.; GESTIN, C.; LEYDECKER, M. T.; BEDU, M.; MEYER, C.; TRUONG, H.-N. Nitrate, a signal relieving seed dormancy in *Arabidopsis*. **Plant, Cell & Environment**, v. 28, n. 4, p. 500–512, 2005.

ALI-RACHEDI, S.; BOUINOT, D.; WAGNER, M. H.; BONNET, M.; SOTTA, B.; GRAPPIN, P.; JULLIEN, M. Changes in endogenous abscisic acid levels during dormancy release and maintenance of mature seeds: studies with the Cape Verde Islands ecotype, the dormant model of *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, v. 219, n. 3, p. 479–488, 2004.

ALSHALLASH, K. S. Effect of pendimethalin, trifluralin and terbutryn on *Lolium multiflorum* growing with barley during pre-emergence stage. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, n. 2, p. 239–242, 2014.

ANDREWS, M.; DOUGLAS, A.; JONES, A. V.; MILBURN, C. E.; PORTER, D.; MCKENZIE, B. A. Emergence of temperate pasture grasses from different sowing depths: importance of seed weight, coleoptile plus mesocotyl length and shoot strength. **Annals of Applied Biology**, v. 130, n. 3, p. 549–560, 1997.

APPLEBY, A. P.; BRENCHLEY, R. G. Influence of paraquat on seed germination. **Weed Science**, v. 16, n. 4, p. 484–485, 1968.

ARC, E.; GALLAND, M.; GODIN, B.; CUEFF, G.; RAJJOU, L. Nitric oxide implication in the control of seed dormancy and germination. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, 2013.

ARGYRIS, J.; DAHAL, P.; HAYASHI, E.; STILL, D. W.; BRADFORD, K. J. Genetic variation for lettuce seed thermoinhibition is associated with temperature-sensitive expression of abscisic acid, gibberellin, and ethylene biosynthesis, metabolism, and response genes. **Plant Physiology**, v. 148, n. 2, p. 926–947, 2008.

AROCA, R.; DEL MAR ALGUACIL, M.; VERNIERI, P.; RUIZ-LOZANO, J. M. Plant responses to drought stress and exogenous ABA application are modulated differently by mycorrhization in tomato and an ABA-deficient mutant (Sitien). **Microbial Ecology**, v. 56, n. 4, p. 704, 2008.

BAE, J.; NURSE, R. E.; SIMARD, M.-J.; PAGE, E. R. Managing glyphosate-resistant common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*): effect of glyphosate-phenoxy tank mixes on growth, fecundity, and seed viability. **Weed Science**, v. 65, n. 1, p. 31–40, 2017.

BAGAVATHIANNAN, M. V.; NORSWORTHY, J. K.; SMITH, K. L.; NEVE, P. Modeling the evolution of glyphosate resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in cotton-based production systems of the Midsouthern United States. **Weed Technology**, v. 27, n. 3, p. 475–487, 2013.

BAGAVATHIANNAN, M. V.; NORSWORTHY, J. K. Late-season seed production in arable weed communities: management implications. **Weed Science**, v. 60, n. 3, p. 325–334, 2012.

BARARPOUR, M. T.; NORSWORTHY, J. K.; BURGOS, N. R.; KORRES, N. E.; GBUR, E. E. Identification and biological characteristics of ryegrass (*Lolium* spp.) accessions in Arkansas. **Weed Science**, v. 65, n. 3, p. 350–360, 2017.

BARARPOUR, T.; BOND, J. A.; SINGH, G.; HALE, R. R.; EDWARDS, M.; LAWRENCE, B. H. Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium perenne* L. spp. *Multiflorum*) control and seed suppression in Mississippi. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 162, 2020.

BARARPOUR, T.; HALE, R. R.; KAUR, G.; BOND, J. A.; BURGOS, N. R.; TSENG, T. M. P.; WILKERSON, T. H.; LAZARO, L. M. Comparison of herbicides for control of diclofop-resistant Italian ryegrass in wheat. **Agriculture**, v. 8, n. 9, p. 135, 2018.

BARRETT, S. H. Crop mimicry in weeds. **Economic Botany**, v. 37, n. 3, p. 255–282, 1983.

BARROS, A. F.; PIMENTEL, L. D.; FREITAS, F. C. L.; CECON, P. R.; TOMAZ, A. C.; SOUSA, E. A. M.; LADEIRA, L. M.; BIESDORF, E. M. Dessecação pré-colheita em sorgo granífero: qualidade fisiológica das sementes e efeito sobre a rebrota. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 2, p. 1–8, 2019.

BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. Second edition ed. San Diego, CA: Elsevier/AP, 2014.

- BATAK, I.; DEVIĆ, M.; GIBAL, Z.; GRUBIŠIĆ, D.; POFF, K. L.; KONJEVIĆ, R. The effects of potassium nitrate and NO-donors on phytochrome A- and phytochrome B-specific induced germination of *Arabidopsis thaliana* seeds. **Seed Science Research**, v. 12, n. 4, p. 253–259, 2002.
- BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R. L. Predicting changes in dormancy level in weed seed soil banks: Implications for weed management. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 189–197, 2007.
- BATLLA, D.; KRUK, B. C.; BENECH-ARNOLD, R. L. Very early detection of canopy presence by seeds through perception of subtle modifications in red:far red signals. **Functional Ecology**, v. 14, n. 2, p. 195–202, 2000.
- BELIN, C.; MEGIES, C.; HAUSEROVÁ, E.; LOPEZ-MOLINA, L. Abscisic acid represses growth of the *Arabidopsis* embryonic axis after germination by enhancing auxin signaling. **The Plant Cell**, v. 21, n. 8, p. 2253–2268, 2009.
- BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; BASSO, C. J.; EDU KASPARY, T.; LAMEGO, F. P.; PINTO, M. A. B. Yield and quality of wheat seeds as a function of desiccation stages and herbicides. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 1, p. 63–70, 2014.
- BENECH-ARNOLD, R. L.; SÁNCHEZ, R. A.; FORCELLA, F.; KRUK, B. C.; GHERSA, C. M. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. **Field Crops Research**, v. 67, n. 2, p. 105–122, 2000.
- BENNETT, A. C.; SHAW, D. R. Effect of preharvest desiccants on weed seed production and viability. **Weed Technology**, v. 14, n. 3, p. 530–538, 2000.
- BESSON-BARD, A.; PUGIN, A.; WENDEHENNE, D. New insights into nitric oxide signaling in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 21–39, 2008.
- BETHKE, P. C.; LIBOUREL, I. G. L.; AOYAMA, N.; CHUNG, Y.-Y.; STILL, D. W.; JONES, R. L. The *Arabidopsis* aleurone layer responds to nitric oxide, gibberellin, and abscisic acid and is sufficient and necessary for seed dormancy. **Plant Physiology**, v. 143, n. 3, p. 1173–1188, 2007.
- BETHKE, P. C.; LIBOUREL, I. G. L.; JONES, R. L. Nitric oxide reduces seed dormancy in *Arabidopsis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 3, p. 517–526, 2006.
- BETHKE, P. C.; GUBLER, F.; JACOBSEN, J. V.; JONES, R. L. Dormancy of *Arabidopsis* seeds and barley grains can be broken by nitric oxide. **Planta**, v. 219, n. 5, p. 847–855, 2004.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3rd ed. New York, NY: Springer, 2013.

- BIAN, F.; SU, J.; LIU, W.; LI, S. Dormancy release and germination of *Taxus yunnanensis* seeds during wet sand storage. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2018.
- BINIAK, B. M.; ALDRICH, R. J. Reducing velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and giant foxtail (*Setaria faberi*) seed production with simulated-roller herbicide applications. **Weed Science**, v. 34, n. 2, p. 256–259, 1986.
- BÖGER, P.; WAKABAYASHI, K.; HIRAI, K. **Herbicide classes in development: Mode of action, targets, genetic engineering, chemistry**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2012.
- BOGER, P.; SANDMANN, G. **Target assays for modern herbicides and related phytotoxic compounds**. [s.l.] CRC Press, 1992.
- BOGER, P.; SANDMANN, G. **Target sites of herbicide action**. [s.l.] CRC Press, 1989.
- BOUDELLE, J. A.; STROMBERG, J. C. Impact of nitrate enrichment on wetland and dryland seed germination and early seedling development. **Journal of Vegetation Science**, v. 26, n. 3, p. 452–463, 2015.
- BOUTSALIS, P.; GILL, G. S.; PRESTON, C. Incidence of herbicide resistance in Rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) across Southeastern Australia. **Weed Technology**, v. 26, n. 3, p. 391–398, 2012.
- BRACCINI, A. L. Banco de sementes e mecanismos de dormência em sementes de plantas daninhas. In: OLIVEIRA Jr, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**, 2011. p. 37-66.
- BRADFORD, K. J. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. **Weed Science**, v. 50, n. 2, p. 248–260, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009.
- BREWER, C. E.; OLIVER, L. R. Reducing weed seed rain with late-season glyphosate applications. **Weed Technology**, v. 21, n. 3, p. 753–758, 2007.
- BRUNHARO, C. A. C. G.; HANSON, B. D. Multiple herbicide-resistant Italian ryegrass [*Lolium perenne* L. spp. *multiflorum* (Lam.) Husnot] in California perennial crops: Characterization, mechanism of resistance, and chemical management. **Weed Science**, v. 66, n. 6, p. 696–701, 2018.
- BRUTNELL, T. P.; VOGEL, J. P.; BENNETZEN, J. L. Model genetic systems for the grasses. **Annu. Rev. Plant Biol.** 66, 465–485. 2015.
- BUHLER, D. D.; HARTZLER, R. G.; FORCELLA, F. Implications of weed seedbank dynamics to weed management. **Weed Science**, v. 45, n. 3, p. 329–336, 1997.

CAMPOS, C. F. DE; MARTINS, D.; COSTA, A. C. P. R. DA; PEREIRA, M. R. R.; CARDOSO, L. A.; MARTINS, C. C. Efeito de herbicidas na dessecação e germinação de sementes remanescentes de *Lolium multiflorum* L. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2067–2074, 2012.

CAO, H.; HAN, Y.; LI, J.; DING, M.; LI, Y.; LI, X.; CHEN, F.; SOPPE, W. J. J.; LIU, Y. *Arabidopsis thaliana* Seed dormancy 4-Like regulates seed dormancy and germination by mediating the gibberellin pathway. **Journal of Experimental Botany**, 2019.

CASTELLANOS-FRÍAS, E.; GARCIA DE LEÓN, D.; BASTIDA, F.; GONZALEZ-ANDUJAR, J. L. Predicting global geographical distribution of *Lolium rigidum* (Rigid ryegrass) under climate change. **The Journal of Agricultural Science**, v. 154, n. 5, p. 755–764, 2016.

CHAMOVITZ, D.; SANDMANN, G.; HIRSCHBERG, J. Molecular and biochemical characterization of herbicide-resistant mutants of cyanobacteria reveals that phytoene desaturation is a rate-limiting step in carotenoid biosynthesis. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 268, n. 23, p. 17348–17353, 1993.

CHANG, C. M.; GUPTA, A.; BHAGWAT, S. G. Gibberellic acid-insensitive semi-dwarfs of *Triticum dicoccum* have delayed aleurone function. **Plant Growth Regulation**, v. 75, n. 1, p. 89–99, 2015.

CHASTAIN, T. G.; YOUNG, W. C.; SILBERSTEIN, T. B.; GARBACIK, C. J. Performance of trinexapac-ethyl on *Lolium perenne* seed crops in diverse lodging environments. **Field Crops Research**, v. 157, p. 65–70, 2014.

CHAUHAN, B. S.; JOHNSON, D. E. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of Eclipta (*Eclipta prostrata*) in a tropical environment. **Weed Science**, v. 56, n. 3, p. 383–388, 2008.

CHAUHAN, B. S.; GILL, G.; PRESTON, C. Influence of tillage systems on vertical distribution, seedling recruitment and persistence of Rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) seed bank. **Weed Science**, v. 54, n. 4, p. 669–676, 2006.

CHEN, J.; GOGGIN, D.; HAN, H.; BUSI, R.; YU, Q.; POWLES, S. Enhanced trifluralin metabolism can confer resistance in *Lolium rigidum*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 29, p. 7589–7596, 2018.

CHRISTOFFOLETI, P. et al. Alternative herbicides to manage Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) resistant to glyphosate at different phenological stages. **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 40, n. 1, p. 59–67, 2005.

CHIWOCHA, S. D. S.; CUTLER, A. J.; ABRAMS, S. R.; AMBROSE, S. J.; YANG, J.; ROSS, A. R. S.; KERMODE, A. R. The *etr1-2* mutation in *Arabidopsis thaliana* affects the abscisic acid, auxin, cytokinin and gibberellin metabolic pathways during maintenance of seed dormancy, moist-chilling and germination. **The Plant Journal**, v. 42, n. 1, p. 35–48, 2005.

CLAY, P. A.; GRIFFIN, J. L. Weed seed production and seedling emergence responses to late-season glyphosate applications. **Weed Science**, v. 48, n. 4, p. 481–486, 2000.

COBLE, H. D.; MORTENSEN, D. A. The threshold concept and its application to weed science. **Weed Technology**, v. 6, n. 1, p. 191–195, 1992.

CROOKS, H. L. Vegetative growth and competitiveness of common cocklebur resistant and susceptible to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. **The Journal of Cotton Science** v. 9, n. 2, p. 9, 2005.

CROW, W. D.; STECKEL, L. E.; HAYES, R. M.; MUELLER, T. C. Evaluation of POST-Harvest herbicide applications for seed prevention of glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). **Weed Technology**, v. 29, n. 3, p. 405–411, 2015.

CRUZ-GARCÍA, F.; ZÚÑIGA-AGUILAR, J. J.; VÁZQUEZ-RAMOS, J. M. Effect of stimulating maize germination on cell cycle proteins. **Physiologia Plantarum**, v. 102, n. 4, p. 573–581, 1998.

DA ROSA ULGUIM, A.; AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; DIAS GOMES DA SILVA, J.; SCHNEIDER, T.; MONCKS DA SILVA, B. Mixture of glufosinate and atrazine for ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) control and its effect on seeds' quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 72, n. 1, p. 8655–8661, 2019.

DAVIS, A. S.; RENNER, K. A.; GROSS, K. L. Weed seedbank and community shifts in a long-term cropping systems experiment. **Weed Science**, v. 53, n. 3, p. 296–306, 2006.

DEKKERS, B. J. W.; HE, H.; HANSON, J.; WILLEMS, L. A. J.; JAMAR, D. C. L.; CUEFF, G.; RAJJOU, L.; HILHORST, H. W. M.; BENTSINK, L. The *Arabidopsis* DELAY OF GERMINATION 1 gene affects ABSCISIC ACID INSENSITIVE 5 (ABI5) expression and genetically interacts with ABI3 during *Arabidopsis* seed development. **The Plant Journal**, v. 85, n. 4, p. 451–465, 2016.

DEKKERS, B. J. W.; BENTSINK, L. Regulation of seed dormancy by abscisic acid and DELAY OF GERMINATION 1. **Seed Science Research**, v. 25, n. 2, p. 82–98, 2015.

DEREGIBUS, V. A.; CASAL, J. J.; JACOBO, E. J.; GIBSON, D.; KAUFFMAN, M.; RODRIGUEZ, A. M. Evidence that heavy grazing may promote the germination of *Lolium multiflorum* seeds via phytochrome-mediated perception of high red/far-red ratios. **Functional Ecology**, v. 8, n. 4, p. 536–542, 1994.



DERKX, M. P. M.; KARSSSEN, C. M. Changing sensitivity to light and nitrate but not to gibberellins regulates seasonal dormancy patterns in *Sisymbrium officinale* seeds. **Plant, Cell & Environment**, v. 16, n. 5, p. 469–479, 1993.

DONG, T.; TONG, J.; XIAO, L.; CHENG, H.; SONG, S. Nitrate, abscisic acid and gibberellin interactions on the thermoinhibition of lettuce seed germination. **Plant Growth Regulation**, v. 66, n. 2, p. 191–202, 2012.

DUERMAYER, L.; KHODAPANNAHI, E.; YAN, D.; KRAPP, A.; ROTHSTEIN, S. J.; NAMBARA, E. Regulation of seed dormancy and germination by nitrate. **Seed Science Research**, v. 28, n. 3, p. 150–157, 2018.

EL-MAAROUF-BOUATEAU, H.; SAJJAD, Y.; BAZIN, J.; LANGLADE, N.; CRISTESCU, S. M.; BALZERGUE, S.; BAUDOUIN, E.; BAILLY, C. Reactive oxygen species, abscisic acid and ethylene interact to regulate sunflower seed germination. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, n. 2, p. 364–374, 2015.

EL-ROKIEK, K. G.; EL-AWADY, M. S.; EL-WAHED, M. S. A. A. Physiological responses of wheat plants and accompanied weeds to derby herbicide and  $\beta$ -sitosterol bioregulator. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 8 n. 4, p. 1918–1926, 2012.

FAWCETT, R. S.; SLIFE, F. W. Effects of 2,4-D and Dalapon on Weed Seed Production and Dormancy. **Weed Science**, v. 26, n. 6, p. 543–547, 1978.

FERNÁNDEZ, P.; ALCÁNTARA, R.; OSUNA, M. D.; VILA-AIUB, M. M.; PRADO, R. D. Forward selection for multiple resistance across the non-selective glyphosate, glufosinate and oxyfluorfen herbicides in *Lolium* weed species. **Pest Management Science**, v. 73, n. 5, p. 936–944, 2017.

FEURTADO, J. A.; YANG, J.; AMBROSE, S. J.; CUTLER, A. J.; ABRAMS, S. R.; KERMODE, A. R. Disrupting abscisic acid homeostasis in western white pine (*Pinus monticola* Dougl. Ex D. Don) seeds induces dormancy termination and changes in abscisic acid catabolites. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 26, n. 1, p. 46–54, 2007.

FIDLER, J.; ZDUNEK-ZASTOCKA, E.; BIELAWSKI, W. Regulation of abscisic acid metabolism in relation to the dormancy and germination of cereal grains. **Acta Soc Bot Pol**, p. 9, 2015.

FINCH-SAVAGE, W. E.; FOOTITT, S. Seed dormancy cycling and the regulation of dormancy mechanisms to time germination in variable field environments. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 4, p. 843–856, 2017.

FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, n. 3, p. 501–523, 2006.

FINKELSTEIN, R.; REEVES, W.; ARIIZUMI, T.; STEBER, C. Molecular aspects of seed dormancy. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 387–415, 2008.

- FINKELSTEIN, R.; GAMPALA, S. S. L.; ROCK, C. D. Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. **The Plant Cell**, v. 14, n. suppl 1, p. S15–S45, 2002.
- FLETCHER, R. A.; MERU, S. V.; BHARDWAJ, S. N. Reversal of fluridone-reduced chlorophyll accumulation in Cucumber (*Cucumis sativus*) cotyledons by stimulatory compounds. **Weed Science**, v. 32, n. 6, p. 722–726, 1984.
- GANIE, Z. A.; KAUR, S.; JHA, P.; KUMAR, V.; JHALA, A. J. Effect of late-season herbicide applications on inflorescence and seed production of glyphosate-resistant Giant Ragweed (*Ambrosia trifida*). **Weed Technology**, v. 32, n. 2, p. 159–165, 2018.
- GALLANDT, E. R. How can we target the weed seedbank? **Weed Science**, v. 54, n. 3, p. 588–596, 2006.
- GHERSA, C. M.; BENECH-ARNOLD, R. L.; SATORRE, E. H.; MARTÍNEZ-GHERSA, M. A. Advances in weed management strategies. **Field Crops Research**, v. 67, n. 2, p. 95–104, 2000.
- GHERSA, C. M.; MARTÍNEZ-GHERSA, M. A.; BREWER, T. G.; ROUSH, M. L. Selection pressures for diclofop-methyl resistance and germination time of Italian ryegrass. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 5, p. 823–828, 1994a.
- GHERSA, C. M.; MARTINEZ-GHERSA, M. A.; BREWER, T. G.; ROUSH, M. L. Use of gene flow to control diclofop-methyl resistance in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). **Weed Technology**, v. 8, n. 1, p. 139–147, 1994b.
- GIANINETTI, A.; VERNIERI, P. On the role of abscisic acid in seed dormancy of red rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 12, p. 3449–3462, 2007.
- GILL, G. S.; COUSENS, R. D.; ALLAN, M. R. Germination, growth, and development of herbicide resistant and susceptible populations of Rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). **Weed Science**, v. 44, n. 2, p. 252–256, 1996.
- GOGGIN, D. E.; EMERY, R. J. N.; KUREPIN, L. V.; POWLES, S. B. A potential role for endogenous microflora in dormancy release, cytokinin metabolism and the response to fluridone in *Lolium rigidum* seeds. **Annals of Botany**, v. 115, n. 2, p. 293–301, 2015.
- GOGGIN, D. E.; POWLES, S. B. Fluridone: a combination germination stimulant and herbicide for problem fields? **Pest Management Science**, v. 70, n. 9, p. 1418–1424, 2014.
- GOGGIN, D. E.; POWLES, S. B.; STEADMAN, K. J. Understanding *Lolium rigidum* seeds: the key to managing a problem weed? **Agronomy**, v. 2, n. 3, p. 222–239, 2012.
- GOGGIN, D. E.; POWLES, S. B.; STEADMAN, K. J. Selection for low or high primary dormancy in *Lolium rigidum* Gaud seeds results in constitutive differences in stress protein expression and peroxidase activity. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 1037–1047, 2011.

GOGGIN, D. E.; STEADMAN, K. J.; EMERY, R. J. N.; FARROW, S. C.; BENECH-ARNOLD, R. L.; POWLES, S. B. ABA inhibits germination but not dormancy release in mature imbibed seeds of *Lolium rigidum* Gaud. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 12, p. 3387–3396, 2009.

GRAEBER, K.; NAKABAYASHI, K.; MIATTON, E.; LEUBNER-METZGER, G.; SOPPE, W. J. J. Molecular mechanisms of seed dormancy. **Plant, Cell & Environment**, v. 35, n. 10, p. 1769–1786, 2012.

GRAMSHAW, D. Temperature/light interactions and the effect of seed source on germination of annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.) seeds. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 27, n. 6, p. 779–786, 1976.

GRIFFIN, J. L.; BOUDREAUX, J. M.; MILLER, D. K. Herbicides as harvest aids. **Weed Science**, v. 58, n. 3, p. 355–358, 2010.

GRUBIŠIĆ, D.; KONJEVIĆ, R. Light and nitrate interaction in phytochrome-controlled germination of *Paulownia tomentosa* seeds. **Planta**, v. 181, n. 2, p. 239–243, 1990.

GUAN, C.; WANG, X.; FENG, J.; HONG, S.; LIANG, Y.; REN, B.; ZUO, J. Cytokinin antagonizes abscisic acid-mediated inhibition of cotyledon greening by promoting the degradation of ABSCISIC ACID INSENSITIVE5 protein in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 164, n. 3, p. 1515–1526, 2014.

GUBLER, F.; MILLAR, A. A.; JACOBSEN, J. V. Dormancy release, ABA and pre-harvest sprouting. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 8, n. 2, p. 183–187, 2005.

GUNDEL, P. E.; MARTÍNEZ-GHERSA, M. A.; GHERSA, C. M. Dormancy, germination and ageing of *Lolium multiflorum* seeds following contrasting herbicide selection regimes. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 606–613, 2008.

HASHEM, A.; RADOSEVICH, S. R.; ROUSH, M. L. Effect of proximity factors on competition between winter wheat (*Triticum aestivum*) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). **Weed Science**, v. 46, n. 2, p. 181–190, 1998.

HARPER, J. L. The evolution of weeds in relation to resistance to herbicides. **Proceedings of the Third British Weed Control Conference**, 1956.

HARTZLER, R. G.; BATTLES, B. A. Reduced fitness of Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) surviving glyphosate. **Weed Technology**, v. 15, n. 3, p. 492–496, 2001.

HE, Y.; CHENG, J.; LIU, L.; LI, X.; YANG, B.; ZHANG, H.; WANG, Z. Effects of pre-harvest chemical application on rice desiccation and seed quality. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE B**, v. 16, n. 10, p. 813–823, 2015.

HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

- HESS, M.; BARRALIS, G.; BLEIHOLDER, H.; BUHR, L.; EGGERS, TH.; HACK, H.; STAUSS, R. Use of the extended BBCH scale - general for the descriptions of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species. **Weed Research**, v. 37, n. 6, p. 433–441, 1997.
- HIERRO, J. L.; EREN, Ö.; KHETSURIANI, L.; DIACONU, A.; TÖRÖK, K.; MONTESINOS, D.; ANDONIAN, K.; KIKODZE, D.; JANOIAN, L.; VILLARREAL, D.; ESTANGA-MOLLICA, M. E.; CALLAWAY, R. M. Germination responses of an invasive species in native and non-native ranges. **Oikos**, v. 118, n. 4, p. 529–538, 2009.
- HILHORST, H. W. M.; KARSSSEN, C. M. Dual effect of light on the gibberellin- and nitrate-stimulated seed germination of *Sisymbrium officinale* and *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, v. 86, n. 2, p. 591–597, 1988.
- HILTON, J. R. The influence of light and potassium nitrate on the dormancy and germination of *Avena fatua* L. (wildoat) seed and its ecological significance. **New Phytologist**, v. 96, n. 1, p. 31–34, 1984.
- HOLDSWORTH, M. J.; BENTSINK, L.; SOPPE, W. J. J. Molecular networks regulating *Arabidopsis* seed maturation, after-ripening, dormancy and germination. **New Phytologist**, v. 179, n. 1, p. 33–54, 2008.
- HOLT, J. S. Fitness and ecological adaptability of herbicide-resistant biotypes. In: **Managing Resistance to Agrochemicals**. ACS Symposium Series. [s.l.] American Chemical Society, 1990. v. 421p. 419–429.
- HOSSAIN, M. M.; BEGUM, M. Soil weed seed bank: Importance and management for sustainable crop production- A Review. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 13, n. 2, p. 221–228, 2015.
- JABRAN, K.; MAHMOOD, K.; MELANDER, B.; BAJWA, A. A.; KUDSK, P. Chapter three - Weed dynamics and management in wheat. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. [s.l.] Academic Press, 2017. v. 145p. 97–166.
- JACOBSEN, J. V.; BARRERO, J. M.; HUGHES, T.; JULKOWSKA, M.; TAYLOR, J. M.; XU, Q.; GUBLER, F. Roles for blue light, jasmonate and nitric oxide in the regulation of dormancy and germination in wheat grain (*Triticum aestivum* L.). **Planta**, v. 238, n. 1, p. 121–138, 2013.
- JENSEN, P. K. Longevity of seeds of *Poa pratensis* and *Lolium perenne* as affected by simulated soil tillage practices and its implications for contamination of herbage seed crops. **Grass and Forage Science**, v. 65, n. 1, p. 85–91, 2010.
- JHA, P.; NORSWORTHY, J. K. Influence of late-season herbicide applications on control, fecundity, and progeny fitness of glyphosate-resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) biotypes from Arkansas. **Weed Technology**, v. 26, n. 4, p. 807–812, 2012.

- JOHNSON, D. B.; NORSWORTHY, J. K. Johnsongrass (*Sorghum halepense*) management as influenced by herbicide selection and application timing. **Weed Technology**, v. 28, n. 1, p. 142–150, 2014.
- JOHNSON, W. G.; DAVIS, V. M.; KRUGER, G. R.; WELLER, S. C. Influence of glyphosate-resistant cropping systems on weed species shifts and glyphosate-resistant weed populations. **European Journal of Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 162–172, 2009.
- JONES, R. E.; VERE, D. T.; ALEMSEGED, Y.; MEDD, R. W. Estimating the economic cost of weeds in Australian annual winter crops. **Agricultural Economics**, v. 32, n. 3, p. 253–265, 2005.
- KELLMAN, M. Microdistribution of viable weed seed in two tropical soils. **Journal of Biogeography**, v. 5, n. 3, p. 291–300, 1978.
- KLEEMANN, S. G. L.; PRESTON, C.; GILL, G. S. Influence of management on long-term seedbank dynamics of Rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in cropping systems of Southern Australia. **Weed Science**, v. 64, n. 2, p. 303–311, 2016.
- KLOOT, P. M. The genus *Lolium* in Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 31, n. 4, p. 421–435, 1983.
- KOBAYASHI, H.; OYANAGI, A. *Digitaria ciliaris* seed banks in untilled and tilled soybean fields. **Weed Biology and Management**, v. 5, n. 2, p. 53–61, 2005.
- KOORNNEEF, M.; BENTSINK, L.; HILHORST, H. Seed dormancy and germination. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, n. 1, p. 33–36, 2002.
- KORRES, N. E.; NORSWORTHY, J. K.; TEHRANCHIAN, P.; GITSOPOULOS, T. K.; LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M.; GEALY, D. R.; MOSS, S. R.; BURGOS, N. R.; MILLER, M. R.; PALHANO, M. Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 1, p. 12, 2016.
- KORRES, N. E.; FROUD-WILLIAMS, R. J. Effects of winter wheat cultivars and seed rate on the biological characteristics of naturally occurring weed flora. **Weed Research**, v. 42, n. 6, p. 417–428, 2002.
- KOTOULA-SYKA, E.; TAL, A.; RUBIN, B. Diclofop-resistant *Lolium rigidum* from northern Greece with cross-resistance to ACCase inhibitors and multiple resistance to chlorsulfuron. **Pest Management Science**, v. 56, n. 12, p. 1054–1058, 2000.
- KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PEREIRA, V. G. C.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P. Yield and physiological quality of wheat seeds after desiccation with different herbicides. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 3, p. 254–261, 2017.

- KUCERA, B.; COHN, M. A.; LEUBNER-METZGER, G. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. **Seed Science Research**, v. 15, n. 4, p. 281–307, 2005.
- KUMAR, V.; JHA, P. Influence of herbicides applied postharvest in wheat stubble on control, fecundity, and progeny fitness of *Kochia scoparia* in the US Great Plains. **Crop Protection**, v. 71, p. 144–149, 2015.
- KUSHIRO, T.; OKAMOTO, M.; NAKABAYASHI, K.; YAMAGISHI, K.; KITAMURA, S.; ASAMI, T.; HIRAI, N.; KOSHIBA, T.; KAMIYA, Y.; NAMBARA, E. The *Arabidopsis* cytochrome P450 CYP707A encodes ABA 8'-hydroxylases: key enzymes in ABA catabolism. **The EMBO Journal**, v. 23, n. 7, p. 1647–1656, 2004.
- KUSUMOTO, D.; CHAE, S. H.; MUKAIDA, K.; YONEYAMA, K.; YONEYAMA, K.; JOEL, D. M.; TAKEUCHI, Y. Effects of fluridone and norflurazon on conditioning and germination of *Striga asiatica* seeds. **Plant Growth Regulation**, v. 48, n. 1, p. 73–78, 2006.
- LAVERGNE, S.; MOLOFSKY, J. Increased genetic variation and evolutionary potential drive the success of an invasive grass. **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.** 104, 3883–3888. 2007.
- LEWANDROWSKI, W.; ERICKSON, T. E.; DIXON, K. W.; STEVENS, J. C. Increasing the germination envelope under water stress improves seedling emergence in two dominant grass species across different pulse rainfall events. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 3, p. 997–1007, 2017.
- LI, C.; NONOGAKI, H.; BARRERO, J. (EDS.). **Seed Dormancy, Germination and Pre-Harvest Sprouting**. [s.l.] Frontiers Media SA, 2019.
- LI, X.; JIANG, H.; LIU, F.; CAI, J.; DAI, T.; CAO, W.; JIANG, D. Induction of chilling tolerance in wheat during germination by pre-soaking seed with nitric oxide and gibberellin. **Plant Growth Regulation**, v. 71, n. 1, p. 31–40, 2013.
- LI, Z.; ZHANG, J.; LIU, Y.; ZHAO, J.; FU, J.; REN, X.; WANG, G.; WANG, J. Exogenous auxin regulates multi-metabolic network and embryo development, controlling seed secondary dormancy and germination in *Nicotiana tabacum* L. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 1–15, 2016.
- LINKIES, A.; MÜLLER, K.; MORRIS, K.; TUREČKOVÁ, V.; WENK, M.; CADMAN, C. S. C.; CORBINEAU, F.; STRNAD, M.; LYNN, J. R.; FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. Ethylene interacts with abscisic acid to regulate endosperm rupture during germination: A comparative approach using *Lepidium sativum* and *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Cell**, v. 21, n. 12, p. 3803–3822, 2009.
- LIU, X.; ZHANG, H.; ZHAO, Y.; FENG, Z.; LI, Q.; YANG, H.-Q.; LUAN, S.; LI, J.; HE, Z.-H. Auxin controls seed dormancy through stimulation of abscisic acid signaling

- by inducing ARF-mediated ABI3 activation in *Arabidopsis*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 38, p. 15485–15490, 2013.
- LIU, Y.; SHI, L.; YE, N.; LIU, R.; JIA, W.; ZHANG, J. Nitric oxide-induced rapid decrease of abscisic acid concentration is required in breaking seed dormancy in *Arabidopsis*. **New Phytologist**, v. 183, n. 4, p. 1030–1042, 2009.
- LONG, R. L.; WILLIAMS, K.; GRIFFITHS, E. M.; FLEMATTI, G. R.; MERRITT, D. J.; STEVENS, J. C.; TURNER, S. R.; POWLES, S. B.; DIXON, K. W. Prior hydration of *Brassica tournefortii* seeds reduces the stimulatory effect of karrikinolide on germination and increases seed sensitivity to abscisic acid. **Annals of Botany**, v. 105, n. 6, p. 1063–1070, 2010.
- LUNA, B.; MORENO, J. M. Light and nitrate effects on seed germination of Mediterranean plant species of several functional groups. **Plant Ecology**, v. 203, n. 1, p. 123–135, 2009.
- LUSH, W. M.; GROVES, R. H.; KAYE, P. E. Presowing hydration-dehydration treatments in relation to seed germination and early seedling growth of wheat and ryegrass. **Functional Plant Biology**, v. 8, n. 5, p. 409–425, 1981.
- MAIA, F. C.; MAIA, M. DE S.; BEKKER, R. M.; BERTON, R. P.; CAETANO, L. S. *Lolium multiflorum* seeds in the soil: I. Soil seed bank dynamics in a no til system. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 100–110, 2008.
- MARCOS FILHO J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: Abrates; 2015.
- MARTINEZ-GHERSA, M. A.; GHERSA, C. M.; BENECH-ARNOLD, R. L.; DONOUGH, R. M.; SANCHEZ, R. A. Adaptive traits regulating dormancy and germination of invasive species. **Plant Species Biology**, v. 15, n. 2, p. 127–137, 2000.
- MARTINDALE, J. L.; HOLBROOK, N. J. Cellular response to oxidative stress: Signaling for suicide and survival. **Journal of Cellular Physiology**, v. 192, n. 1, p. 1–15, 2002.
- MATAKIADIS, T.; ALBORESI, A.; JIKUMARU, Y.; TATEMATSU, K.; PICHON, O.; RENO, J.-P.; KAMIYA, Y.; NAMBARA, E.; TRUONG, H.-N. The *Arabidopsis* abscisic acid catabolic gene CYP707A2 plays a key role in nitrate control of seed dormancy. **Plant Physiology**, v. 149, n. 2, p. 949–960, 2009.
- MAUN, M. A.; CAVERS, P. B. Effects of 2,4-D on seed production and embryo development of curly dock. **Weed Science**, v. 17, n. 4, p. 533–536, 1969.

- MENG, Y.; SHUAI, H.; LUO, X.; CHEN, F.; ZHOU, W.; YANG, W.; SHU, K. Karrikins: Regulators involved in phytohormone signaling networks during seed germination and seedling development. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2017.
- MENG, Y.; CHEN, F.; SHUAI, H.; LUO, X.; DING, J.; TANG, S.; XU, S.; LIU, J.; LIU, W.; DU, J.; LIU, J.; YANG, F.; SUN, X.; YONG, T.; WANG, X.; FENG, Y.; SHU, K.; YANG, W. Karrikins delay soybean seed germination by mediating abscisic acid and gibberellin biogenesis under shaded conditions. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1–12, 2016.
- MENNAN, H.; NGOUAIJO, M. Seasonal cycles in germination and seedling emergence of summer and winter populations of catchweed bedstraw (*Galium aparine*) and wild mustard (*Brassica kaber*). **Weed Science**, v. 54, n. 1, p. 114–120, 2006.
- METZGER, J. D. Promotion of germination of dormant weed seeds by substituted phthalimides and gibberellic acid. **Weed Science**, v. 31, n. 3, p. 285–289, 1983.
- MONÇON FIPKE, G.; MARTIN, T. N.; NUNES, U. R.; DEAK, VANDRO A.; LEIVAS STECCA, J. D.; MINUSSI WINCK, J. E.; TELEKEN GRANDO, L. F.; DA COSTA ROSSATO, A. Application of non-selective herbicides in the pre-harvest of wheat damages seed quality. **American Journal of Plant Sciences**, v. 09, n. 01, p. 107–123, 2018.
- MORRIS, K.; LINKIES, A.; MÜLLER, K.; ORACZ, K.; WANG, X.; LYNN, J. R.; LEUBNER-METZGER, G.; FINCH-SAVAGE, W. E. Regulation of seed germination in the close *Arabidopsis* relative *Lepidium sativum*: A global tissue-specific transcript analysis. **Plant Physiology**, v. 155, n. 4, p. 1851–1870, 2011.
- MÜLLER, K.; CARSTENS, A. C.; LINKIES, A.; TORRES, M. A.; LEUBNER-METZGER, G. The NADPH-oxidase AtrbohB plays a role in *Arabidopsis* seed after-ripening. **New Phytologist**, v. 184, n. 4, p. 885–897, 2009.
- MURPHY, C. E.; LEMERLE, D. Continuous cropping systems and weed selection. **Euphytica**, v. 148, n. 1, p. 61–73, 2006.
- NAMBARA, E.; MARION-POLL, A. Abscisic acid biosynthesis and catabolism. **Annual Review of Plant Biology**, v. 56, n. 1, p. 165–185, 2005.
- NAMBARA, E.; OKAMOTO, M.; TATEMATSU, K.; YANO, R.; SEO, M.; KAMIYA, Y. Abscisic acid and the control of seed dormancy and germination. **Seed Science Research**, v. 20, n. 2, p. 55–67, 2010.
- NARWAL, S.; SINDEL, B. M.; JESSOP, R. S. Dormancy and longevity of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) as affected by soil type, depth, rainfall, and duration of burial. **Plant and Soil**, v. 310, n. 1, p. 225, 2008.
- NÉE, G.; XIANG, Y.; SOPPE, W. J. The release of dormancy, a wake-up call for seeds to germinate. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 35, p. 8–14, 2017.



- NELSON, L. R.; PHILLIPS, T. D.; WATSON, C. E. Plant breeding for improved production in annual ryegrass. In ROUQUETTE, F. M.; NELSON, L. R. (Ed.). **Ecology, production, and management of *Lolium* for forage in the USA**. Madison: Crop Science Society of America, 1997, p. 1-14.
- NEVE, P.; NORSWORTHY, J. K.; SMITH, K. L.; ZELAYA, I. A. Modelling evolution and management of glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. **Weed Research**, v. 51, n. 2, p. 99–112, 2011.
- NEVE, P.; POWLES, S. Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 110, n. 6, p. 1154–1166, 2005.
- NGUYEN, T. C. T.; OBERMEIER, C.; FRIEDT, W.; ABRAMS, S. R.; SNOWDON, R. J. Disruption of germination and seedling development in *Brassica napus* by mutations causing severe seed hormonal imbalance. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.
- NIINOMI, Y.; IKEDA, M.; YAMASHITA, M.; ISHIDA, Y.; ASAI, M.; SHIMONO, Y.; TOMINAGA, T.; SAWADA, H. Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) on rice paddy levees in Japan: Glyphosate-resistant ryegrass in Japan. **Weed Biology and Management**, v. 13, n. 1, p. 31–38, 2013.
- NONOGAKI, H. Seed germination and dormancy: The classic story, new puzzles, and evolution. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 61, n. 5, p. 541–563, 2019.
- NONOGAKI, H. Seed Biology Updates – Highlights and new discoveries in seed dormancy and germination research. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.
- NONOGAKI, H. Seed dormancy and germination—emerging mechanisms and new hypotheses. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, 2014.
- NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; BEWLEY, J. D. Germination—Still a mystery. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 574–581, 2010.
- NORSWORTHY, J. K.; KORRES, N. E.; BAGAVATHIANNAN, M. V. Weed seedbank management: Revisiting how herbicides are evaluated. **Weed Science**, v. 66, n. 4, p. 415–417, 2018.
- NORSWORTHY, J. K.; WARD, S. M.; SHAW, D. R.; LLEWELLYN, R. S.; NICHOLS, R. L.; WEBSTER, T. M.; BRADLEY, K. W.; FRISVOLD, G.; POWLES, S. B.; BURGOS, N. R.; WITT, W. W.; BARRETT, M. Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations. **Weed Science**, v. 60, n. SP1, p. 31–62, 2012.
- NURSE, R. E.; DARBYSHIRE, S. J.; SIMARD, M.-J. Impact of post-anthesis glyphosate on woolly cupgrass seed production, seed weight and seed viability. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 6, p. 1193–1197, 2015.

OH, E.; YAMAGUCHI, S.; HU, J.; YUSUKE, J.; JUNG, B.; PAIK, I.; LEE, H.-S.; SUN, T.; KAMIYA, Y.; CHOI, G. PIL5, a Phytochrome-Interacting bHLH protein, regulates gibberellin responsiveness by binding directly to the GAI and RGA promoters in *Arabidopsis* seeds. **The Plant Cell**, v. 19, n. 4, p. 1192–1208, 2007.

OKAMOTO, M.; KUWAHARA, A.; SEO, M.; KUSHIRO, T.; ASAMI, T.; HIRAI, N.; KAMIYA, Y.; KOSHIBA, T.; NAMBARA, E. CYP707A1 and CYP707A2, which encode abscisic acid 8'-hydroxylases, are indispensable for proper control of seed dormancy and germination in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 141, n. 1, p. 97–107, 2006.

OLSEN, J.; KRISTENSEN, L.; WEINER, J. Influence of sowing density and spatial pattern of spring wheat (*Triticum aestivum*) on the suppression of different weed species. **Weed Biology and Management**, v. 6, n. 3, p. 165–173, 2006.

ORACZ, K.; KARPIŃSKI, S. Phytohormones signaling pathways and ROS involvement in seed germination. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.

OWEN, M. J.; MICHAEL, P. J.; RENTON, M.; STEADMAN, K. J.; POWLES, S. B. Towards large-scale prediction of *Lolium rigidum* emergence. II. Correlation between dormancy and herbicide resistance levels suggests an impact of cropping systems. **Weed Research**, v. 51, n. 2, p. 133–141, 2011.

OWEN, M. J.; WALSH, M. J.; LLEWELLYN, R. S.; POWLES, S. B. Widespread occurrence of multiple herbicide resistance in Western Australian annual ryegrass (*Lolium rigidum*) populations. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 58, n. 7, p. 711–718, 2007.

PARK, J.; KIM, Y.-S.; KIM, S.-G.; JUNG, J.-H.; WOO, J.-C.; PARK, C.-M. Integration of auxin and salt signals by the NAC transcription factor NTM2 during seed germination in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 156, n. 2, p. 537–549, 2011.

PELTZER, S.; MATSON, P. Understanding the weed seed bank life of important agricultural weeds. **Agribusiness crop updates**, 2002.

PENFIELD, S. Seed dormancy and germination. **Current Biology**, v. 27, n. 17, p. R874–R878, 2017.

PERBONI, L. T.; AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; CECHIN, J.; ZANDONÁ, R. R.; FARIAS, H. D. S. Yield, germination and herbicide residue in seeds of preharvest desiccated wheat. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 304–312, 2018.

PEREIRA, T. et al. Dessecação química para antecipação de colheita em cultivares de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 2383, 2015.

PEREZ, A.; KOGAN, M. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. **Weed Research**, v. 43, n. 1, p. 12–19, 2003.

- PETERSON, M. A.; COLLAVO, A.; OVEJERO, R.; SHIVRAIN, V.; WALSH, M. J. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. **Pest Management Science**, v. 74, n. 10, p. 2246–2259, 2018.
- PILL, W. G.; FRETT, J. J.; MORNEAU, D. C. Germination and seedling emergence of primed tomato and asparagus seeds under adverse conditions. **HortScience**, v. 26, n. 9, p. 1160–1162, 1991.
- PONERT, J.; FIGURA, T.; VOSOLSOBĚ, S.; LIPAVSKÁ, H.; VOHNÍK, M.; JERSÁKOVÁ, J. Asymbiotic germination of mature seeds and protocorm development of *Pseudorchis albida* (Orchidaceae) are inhibited by nitrates even at extremely low concentrations. **Botany**, v. 91, n. 10, p. 662–670, 2013.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2 ed. Brasília, 1985.
- POWLES, S. B. **Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry**. [s.l.] CRC Press, 2018.
- PRITCHARD, S. L.; CHARLTON, W. L.; BAKER, A.; GRAHAM, I. A. Germination and storage reserve mobilization are regulated independently in *Arabidopsis*. **The Plant Journal**, v. 31, n. 5, p. 639–647, 2002.
- RADOSEVICH, S. R.; HOLT, J. S.; GHERSA, C. M. **Ecology of Weeds and Invasive Plants: Relationship to Agriculture and Natural Resource Management**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2007.
- RAJJOU, L.; DUVAL, M.; GALLARDO, K.; CATUSSE, J.; BALLY, J.; JOB, C.; JOB, D. Seed germination and vigor. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, n. 1, p. 507–533, 2012.
- RAMAIIH, S.; GUEDIRA, M.; PAULSEN, G. M. Relationship of indoleacetic acid and tryptophan to dormancy and preharvest sprouting of wheat. **Functional Plant Biology**, v. 30, n. 9, p. 939–945, 2003.
- RAMPTON, H. H.; CHING, T. M. Persistence of crop seeds in soil. **Agronomy Journal**, v. 62, n. 2, p. 272–277, 1970.
- RAMPTON, H. H.; CHING, T. M. Longevity and dormancy in seeds of several cool-season grasses and legumes buried in soil. **Agronomy Journal**, v. 58, n. 2, p. 220–222, 1966.
- RECASENS, J.; CAIMONS, O.; TORRA, J.; TABERNER, A. Variation in seed germination and early growth between and within acetolactate synthase herbicide resistant and susceptible *Lolium rigidum* accessions. **Seed Science and Technology**, v. 35, n. 1, p. 32–47, 2007.
- RICHARDSON, W. C.; BADRAKH, T.; ROUNDY, B. A.; AANDERUD, Z. T.; PETERSEN, S. L.; ALLEN, P. S.; WHITAKER, D. R.; MADSEN, M. D. Influence of

an abscisic acid (ABA) seed coating on seed germination rate and timing of Bluebunch Wheatgrass. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 13, p. 7438–7447, 2019.

ROBERTS, H. A. The changing population of viable weed seeds in an arable soil. **Weed Research**, v. 8, n. 3, p. 253–256, 1968.

RODRIGUEZ, A. M.; JACOBO, E. J.; DEREGIBUS, V. A. Germination behaviour of Italian ryegrass in flooding pampa rangelands. **Seed Science Research**, v. 8, n. 4, p. 521–528, 1998.

RODRÍGUEZ, M. V.; BARRERO, J. M.; CORBINEAU, F.; GUBLER, F.; BENECH-ARNOLD, R. L. Dormancy in cereals (not too much, not so little): about the mechanisms behind this trait. **Seed Science Research**, v. 25, n. 2, p. 99–119, 2015.

ROMAGOSA, I.; PRADA, D.; MORALEJO, M. A.; SOPENA, A.; MUÑOZ, P.; CASAS, A. M.; SWANSTON, J. S.; MOLINA-CANO, J. L. Dormancy, ABA content and sensitivity of a barley mutant to ABA application during seed development and after ripening. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 360, p. 1499–1506, 2001.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; MATTEI, R. W. Resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 301–306, 2004.

ROUSH, M. L.; RADOSEVICH, S. R. Relationships between growth and competitiveness of four annual weeds. **Journal of Applied Ecology**, v. 22, n. 3, p. 895–905, 1985.

SALEM, M. A.; LI, Y.; WISZNIEWSKI, A.; GIAVALISCO, P. Regulatory-associated protein of TOR (RAPTOR) alters the hormonal and metabolic composition of *Arabidopsis* seeds, controlling seed morphology, viability and germination potential. **The Plant Journal**, v. 92, n. 4, p. 525–545, 2017.

SÁNCHEZ, M. DE LA P.; GURUSINGHE, S. H.; BRADFORD, K. J.; VÁZQUEZ-RAMOS, J. M. Differential response of PCNA and Cdk-A proteins and associated kinase activities to benzyladenine and abscisic acid during maize seed germination. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 412, p. 515–523, 2005.

SARATH, G.; BETHKE, P. C.; JONES, R.; BAIRD, L. M.; HOU, G.; MITCHELL, R. B. Nitric oxide accelerates seed germination in warm-season grasses. **Planta**, v. 223, n. 6, p. 1154–1164, 2006.

SCHRAMM, E. C.; NELSON, S. K.; KIDWELL, K. K.; STEBER, C. M. Increased ABA sensitivity results in higher seed dormancy in soft white spring wheat cultivar ‘Zak’. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 126, n. 3, p. 791–803, 2013.

SCHWARTZ-LAZARO, L. M.; COPES, J. T. A review of the soil seedbank from a weed scientists perspective. **Agronomy**, v. 9, n. 7, p. 369, 2019.

- SCHWEIZER, E. E.; ZIMDAHL, R. L. Weed seed decline in irrigated soil after six years of continuous corn (*Zea mays*) and herbicides. **Weed Science**, v. 32, n. 1, p. 76–83, 1984.
- SCURSONI, J. A.; PALMANO, M.; DE NOTTA, A.; DELFINO, D. Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) density and N fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. **Crop Protection**, v. 32, p. 36–40, 2012.
- SEO, M.; HANADA, A.; KUWAHARA, A.; ENDO, A.; OKAMOTO, M.; YAMAUCHI, Y.; NORTH, H.; MARION-POLL, A.; SUN, T.; KOSHIBA, T.; KAMIYA, Y.; YAMAGUCHI, S.; NAMBARA, E. Regulation of hormone metabolism in *Arabidopsis* seeds: phytochrome regulation of abscisic acid metabolism and abscisic acid regulation of gibberellin metabolism. **The Plant Journal**, v. 48, n. 3, p. 354–366, 2006.
- SHIM, S. I.; MOON, J.-C.; JANG, C. S.; RAYMER, P.; KIM, W. Effect of potassium nitrate priming on seed germination of Seashore paspalum. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 2259–2262, 2008.
- SHU, K.; LIU, X.; XIE, Q.; HE, Z. Two faces of one seed: Hormonal regulation of dormancy and germination. **Molecular Plant**, v. 9, n. 1, p. 34–45, 2016.
- SHU, K.; MENG, Y. J.; SHUAI, H. W.; LIU, W. G.; DU, J. B.; LIU, J.; YANG, W. Y. Dormancy and germination: How does the crop seed decide? **Plant Biology**, v. 17, n. 6, p. 1104–1112, 2015.
- SHUAI, H.; MENG, Y.; LUO, X.; CHEN, F.; ZHOU, W.; DAI, Y.; QI, Y.; DU, J.; YANG, F.; LIU, J.; YANG, W.; SHU, K. Exogenous auxin represses soybean seed germination through decreasing the gibberellin/abscisic acid (GA/ABA) ratio. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2017.
- SHUMA, J. M. et al. Germination of seeds from plants of *Avena fatua* L. treated with glyphosate. **Weed Research**, v. 35, n. 4, p. 249–255, 1995.
- SINCLAIR, K.; BEALE, P. J. Critical factors influencing no-till establishment of short-term ryegrass (*Lolium multiflorum*) into a kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture. **Crop and Pasture Science**, v. 61, n. 2, p. 192–200, 2010.
- SOARES, V. N.; ELIAS, S. G.; GADOTTI, G. I.; GARAY, A. E.; VILLELA, F. A. Can the tetrazolium test be used as an alternative to the germination test in determining seed viability of grass species? **crop science**, v. 56, p. 9, 2016.
- SQUIRE, G. R.; MARSHALL, B.; DUNLOP, G.; WRIGHT, G. Genetic basis of rate-temperature characteristics for germination in oilseed rape. **Journal of Experimental Botany**, v. 48, n. 4, p. 869–875, 1997.
- STEADMAN, K. J.; EATON, D. M.; PLUMMER, J. A.; FERRIS, D. G.; POWLES, S. B. Late-season non-selective herbicide application reduces *Lolium rigidum* seed

- numbers, seed viability, and seedling fitness. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 57, n. 1, p. 133, 2006.
- STEADMAN, K. J.; BIGNELL, G. P.; ELLERY, A. J. Field assessment of thermal after-ripening time for dormancy release prediction in *Lolium rigidum* seeds. **Weed Research**, v. 43, n. 6, p. 458–465, 2003a.
- STEADMAN, K. J.; CRAWFORD, A. D.; GALLAGHER, R. S. Dormancy release in *Lolium rigidum* seeds is a function of thermal after-ripening time and seed water content. **Functional plant biology**, 2003b.
- STEINBACH, H. S.; BENECH-ARNOLD, R. L.; SANCHEZ, R. A. Hormonal regulation of dormancy in developing sorghum seeds. **Plant Physiology**, v. 113, n. 1, p. 149–154, 1997.
- SUBEDI, M.; WILLENBORG, C. J.; VANDENBERG, A. Influence of harvest aid herbicides on seed germination, seedling vigor and milling quality traits of Red lentil (*Lens culinaris* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.
- SUN, T.; GUBLER, F. Molecular mechanism of gibberellin signaling in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, n. 1, p. 197–223, 29 abr. 2004.
- SUZUKI, T. Field estimation of weed loss by Italian ryegrass on wheat. **J. Weed Sci. Technol.**, v. 52, p. 18–19, 2007.
- SZEMRUCH, C. L.; RENTERIA, S. J.; MOREIRA, F.; CANTAMUTTO, M. A.; FERRARI, L.; RONDANINI, D. P. Germination, vigour and dormancy of sunflower seeds following chemical desiccation of female plants. **Seed Science and Technology**, v. 42, n. 3, p. 454–460, 2014.
- TAYLOR, S. E.; OLIVER, L. R. Sicklepod (*Senna obtusifolia*) seed production and viability as influenced by late-season postemergence herbicide applications. **Weed Science**, v. 45, n. 4, p. 497–501, 1997.
- TEO-SHERRELL, C. P. A.; MORTENSEN, D. A.; KEATON, M. E. Fates of weed seeds in soil: a seeded core method of study. **Journal of Applied Ecology**, v. 33, n. 5, p. 1107–1113, 1996.
- THOMPSON, K.; GRIME, J. P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. **Journal of Ecology**, v. 67, n. 3, p. 893–921, 1979.
- THOMPSON, K.; GRIME, J. P. A Comparative study of germination responses to diurnally-fluctuating temperatures. **Journal of Applied Ecology**, v. 20, n. 1, p. 141–156, 1983.
- TOOLE, E. H.; TOOLE, V. K.; BORTHWICK, H. A.; HENDRICKS, S. B. Photocontrol of lepidium seed germination. **Plant Physiology**, v. 30, n. 1, p. 15–21, 1955.

- TOOROP, P. E. Nitrate controls testa rupture and water content during release of physiological dormancy in seeds of *Sisymbrium officinale* (L.) Scop. **Seed Science Research**, v. 25, n. 2, p. 138–146, 2015.
- TURNER, N. C.; THOMSON, C. J.; RAWSON, H. M. Effect of temperature on germination and early growth of subterranean clover, capeweed and Wimmera ryegrass. **Grass and Forage Science**, v. 56, n. 2, p. 97–104, 2001.
- VARGAS, L.; NOHATTO, M. A.; AGOSTINETTO, D.; BIANCHI, M. A.; GONÇALVES, E. M.; TOLEDO, R. E. Response of *Euphorbia heterophylla* biotypes to glyphosate rates. **Planta Daninha**, v. 29, n. SPE, p. 1121–1128, 2011.
- VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; RIZZARDI, M. A.; SILVA, V. C. Change in the biological characteristics of ryegrass (*Lolium multiflorum*) biotypes caused by resistance to the herbicide glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 153–160, 2005.
- VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; RIZZARDI, M. A.; SILVA, V. C. Identification of glyphosate-resistant ryegrass (*Lolium multiflorum*) biotypes in apple orchards. **Planta Daninha**, v. 22, n. 4, p. 617–622, 2004.
- VENABLE, D. L.; BROWN, J. S. The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. **The American Naturalist**, v. 131, n. 3, p. 360–384, 1988.
- VIDAL, R. A.; KALSING, A.; GOULART, I. C. G. R.; LAMEGO, F. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Impacto da temperatura, irradiância e profundidade das sementes na emergência e germinação de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 309–315, 2007.
- VILA-AIUB, M. M.; NEVE, P.; STEADMAN, K. J.; POWLES, S. B. Ecological fitness of a multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum* population: dynamics of seed germination and seedling emergence of resistant and susceptible phenotypes. **Journal of Applied Ecology**, v. 42, n. 2, p. 288–298, 2005.
- WALKER, E. R.; OLIVER, L. R. Weed seed production as influenced by glyphosate applications at flowering across a weed complex. **Weed Technology**, v. 22, n. 2, p. 318–325, 2008.
- WALSH, M. J.; NEWMAN, P.; POWLES, S. B. Targeting weed seeds in-crop: A new weed control paradigm for global agriculture. **Weed Technology**, v. 27, n. 3, p. 431–436, 2013.
- WALSH, M. J.; POWLES, S. B. Management strategies for herbicide-resistant weed populations in Australian dryland crop production systems. **Weed Technology**, v. 21, n. 2, p. 332–338, 2007.

- WANG, Y.; LI, L.; YE, T.; ZHAO, S.; LIU, Z.; FENG, Y.-Q.; WU, Y. Cytokinin antagonizes ABA suppression to seed germination of *Arabidopsis* by downregulating ABI5 expression. **The Plant Journal**, v. 68, n. 2, p. 249–261, 2011.
- WANG, M.; MEULEN, R. M. VAN DER; VISSER, K.; SCHAIK, H.-P. V.; DUIJN, B. V.; BOER, A. H. DE. Effects of dormancy-breaking chemicals on ABA levels in barley grain embryos. **Seed Science Research**, v. 8, n. 2, p. 129–137, 1998.
- WEITBRECHT, K.; MÜLLER, K.; LEUBNER-METZGER, G. First off the mark: early seed germination. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 10, p. 3289–3309, 2011.
- WESTWOOD, J. H.; CHARUDATTAN, R.; DUKE, S. O.; FENNIMORE, S. A.; MARRONE, P.; SLAUGHTER, D. C.; SWANTON, C.; ZOLLINGER, R. Weed management in 2050: Perspectives on the future of weed science. **Weed Science**, v. 66, n. 3, p. 275–285, 2018.
- YAMAGUCHI, S. Gibberellin metabolism and its regulation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 225–251, 2008.
- YANNICCARI, M.; ISTILART, C.; GIMÉNEZ, D. O.; CASTRO, A. M. Inheritance of glyphosate resistance in *Lolium perenne* and hybrids with *Lolium multiflorum*. **Crop Protection**, v. 71, p. 72–78, 2015.
- YENISH, J. P.; YOUNG, F. L. Effect of preharvest glyphosate application on seed and seedling quality of spring wheat (*Triticum aestivum*). **Weed Technology**, v. 14, n. 1, p. 212–217, 2000.
- YENISH, J. P.; DOLL, J. D.; BUHLER, D. D. Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil. **Weed Science**, v. 40, n. 3, p. 429–433, 1992.
- YU, Q.; ABDALLAH, I.; HAN, H.; OWEN, M.; POWLES, S. Distinct non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate, ACCase and ALS-inhibiting herbicides in multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum*. **Planta**, v. 230, n. 4, p. 713–723, 2009.
- ZHANG, H.; ZHOU, K.-X.; WANG, W.-Q.; LIU, S.-J.; SONG, S.-Q. Proteome analysis reveals an energy-dependent central process for *Populus×canadensis* seed germination. **Journal of Plant Physiology**, v. 213, p. 134–147, 2017.
- ZHAO, R.; SUN, H.-L.; MEI, C.; WANG, X.-J.; YAN, L.; LIU, R.; ZHANG, X.-F.; WANG, X.-F.; ZHANG, D.-P. The *Arabidopsis* Ca<sup>2+</sup>-dependent protein kinase CPK12 negatively regulates abscisic acid signaling in seed germination and post-germination growth. **New Phytologist**, v. 192, n. 1, p. 61–73, 2011.
- ZHOU, G.; NIMIR, N.; LU, S.; ZHAI, F.; WANG, Y. Gibberellic acid and salinity affected growth and antioxidant enzyme activities in castor bean plants at early growth stage. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 4, p. 1340, 2014.



## APÊNDICES

Resumo da análise de variância (ANOVA) dos capítulos I, II e III

APÊNDICE I – Resumo da análise de variância (ANOVA) para produção e qualidade de sementes de azevém – estádio de espigamento (50% do espigamento). Passo Fundo/RS, 2020

FV	GL	Quadrado médio
		Produção de sementes
Bloco	2	24,52**
Tratamento	18	244,33***
Resíduo	36	3,66
C.V. (%)		14,75

FV	GL	Quadrado médio					
		PMS	Viáveis	V	G	D	M
Bloco	2	0,08*	26,04 <sup>ns</sup>	335,25*	337,03**	89,03*	129,03 <sup>ns</sup>
Tratamento	8	0,03 <sup>ns</sup>	103,77*	113,48 <sup>ns</sup>	84,25 <sup>ns</sup>	66,70*	156,59*
Resíduo	16	0,02	28,16	59,09	45,7	17,70	51,2
C.V. (%)	-	7,2	6,82	12,03	9,96	32,46	37,3

APÊNDICE II – Resumo da análise de variância (ANOVA) para produção e qualidade de sementes de azevém – estádio de florescimento (início do florescimento). Passo Fundo/RS, 2020

FV	GL	Quadrado médio
		Produção de sementes
Bloco	2	150 <sup>ns</sup>
Tratamento	18	206160***
Resíduo	36	7111
C.V. (%)	-	35,54

FV	GL	Quadrado médio					
		PMS	Viáveis	V	G	D	M
Bloco	2	0,04 <sup>ns</sup>	47,41 <sup>ns</sup>	27,27 <sup>ns</sup>	35,27 <sup>ns</sup>	77,93 <sup>ns</sup>	9,21 <sup>ns</sup>
Tratamento	10	0,16**	201,74**	287,68**	296,55***	67*	183,8**
Resíduo	20	0,03	50,37	73,93	58,34	27,4	43,08
C.V. (%)	-	8,76	8,48	13,32	10,64	38,05	45,5

APÊNDICE III – Resumo da análise de variância (ANOVA) para produção e qualidade de sementes de azevém – estádio de desenvolvimento do fruto (cariopse/grão leitoso). Passo Fundo/RS, 2020

FV	GL	Quadrado médio						
		Prod. sem.	PMS	Viáveis	V	G	D	M
Bloco	2	24814*	0,01 <sup>ns</sup>	67,40 <sup>ns</sup>	18,18 <sup>ns</sup>	6,53 <sup>ns</sup>	7,78 <sup>ns</sup>	27,16 <sup>ns</sup>
Tratamento	18	155894***	0,32***	864,26***	1391,31***	1349,27***	264,27***	642,87***
Resíduo	36	6510	0,02	51,52	83,14	90,23	64,75	91,9
C.V. (%)	-	26,48	8,93	9,74	21,21	20,89	32,39	32,29

\*significativo a 5% de probabilidade.

\*\*significativo a 1% de probabilidade.

\*\*\*significativo a 0,1% de probabilidade.

<sup>ns</sup>= não significativo.

FV: Fontes de variação, GL: Graus de liberdade, PMS: Peso de mil sementes, V: Vigor, G: Porcentagem de germinação D: Sementes dormentes, M: Sementes mortas e C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE IV – Resumo da análise de variância (ANOVA) para dinâmica do banco de sementes de dois biótipos de azevém. Passo Fundo/RS, 2020

FV	GL	Quadrado médio		
		Germinação	Dormentes	Mortas
Bloco	3	0,003 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>
Biótipo	1	0,0005 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>**</sup>
Tempo	12	0,70 <sup>***</sup>	0,64 <sup>***</sup>	0,03 <sup>***</sup>
Biótipo*Tempo	12	0,005 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>
Resíduo	75	0,004	0,009	0,005
C.V. (%)	-	12,62	14,16	12,97

\*\*significativo a 1% de probabilidade.

\*\*\*significativo a 0,1% de probabilidade.

<sup>ns</sup>= não significativo.

FV: Fontes de variação, GL: Graus de liberdade e C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE V – Resumo da análise de variância (ANOVA) para qualidade de semente (%) de dois biótipos de azevém em função da aplicação de ABA, GA<sub>3</sub>, BAP, AIA, Fluridone, Diniconazole e Paclocutrazol, na presença ou ausência de KNO<sub>3</sub> em laboratório. Passo Fundo/RS, 2020

Ácido abscísico (ABA)

FV	GL	Quadrado médio			
		V	G	D	M
Biótipo	1	37,5 <sup>ns</sup>	2053,5 <sup>***</sup>	3037,5 <sup>***</sup>	96 <sup>ns</sup>
KNO <sub>3</sub>	1	1261,5 <sup>***</sup>	3220,16 <sup>***</sup>	6080,16 <sup>***</sup>	450,66 <sup>**</sup>
Dose	5	6574,57 <sup>***</sup>	7745,76 <sup>***</sup>	7875,76 <sup>***</sup>	176,66 <sup>*</sup>
Biótipo x KNO <sub>3</sub>	1	280,17 <sup>***</sup>	1633,5 <sup>***</sup>	840,16 <sup>***</sup>	130,66 <sup>ns</sup>
Biótipo x dose	5	94,3 <sup>***</sup>	575,9 <sup>***</sup>	268,3 <sup>**</sup>	326 <sup>***</sup>
KNO <sub>3</sub> x dose	5	483,9 <sup>***</sup>	432,16 <sup>***</sup>	213,36 <sup>**</sup>	207,06 <sup>**</sup>
Biótipo x KNO <sub>3</sub> x dose	5	132,96 <sup>***</sup>	322,3 <sup>***</sup>	252,56 <sup>**</sup>	106,26 <sup>ns</sup>
Resíduo	72	15,16	42,27	64,16	60
C.V. (%)	-	19,59	14,03	4,25	13,91

Ácido giberélico (GA<sub>3</sub>)

FV	GL	Quadrado médio			
		V	G	D	M
Biótipo	1	937,5 <sup>**</sup>	1093,5 <sup>***</sup>	322,67 <sup>*</sup>	2604,17 <sup>***</sup>
KNO <sub>3</sub>	1	7704,16 <sup>***</sup>	11353,5 <sup>***</sup>	10752,66 <sup>***</sup>	8,17 <sup>ns</sup>
Dose	5	977,9 <sup>***</sup>	466,97 <sup>***</sup>	618 <sup>***</sup>	83,77 <sup>ns</sup>
Biótipo x KNO <sub>3</sub>	1	60,16 <sup>ns</sup>	253,5 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	228,17 <sup>ns</sup>
Biótipo x dose	5	769,1 <sup>***</sup>	527,5 <sup>***</sup>	317,46 <sup>**</sup>	156,57 <sup>ns</sup>
KNO <sub>3</sub> x dose	5	536,56 <sup>***</sup>	410,7 <sup>***</sup>	482,66 <sup>***</sup>	98,97 <sup>ns</sup>
Biótipo x KNO <sub>3</sub> x dose	5	509,36 <sup>***</sup>	654,7 <sup>***</sup>	254,66 <sup>**</sup>	294,17 <sup>**</sup>
Resíduo	72	93,94	81,94	70,44	67,94
C.V. (%)	-	6,43	5,91	10	12,75

Continuação – APÊNDICE V.

6-benzilaminopurina (BAP)

FV	GL	Quadrado médio			
		V	G	D	M
Biótipo	1	3901,5***	3456***	150 <sup>ns</sup>	2166***
KNO <sub>3</sub>	1	4320,17***	3750***	4374***	24 <sup>ns</sup>
Dose	5	140,17 <sup>ns</sup>	53,86 <sup>ns</sup>	652***	345,46***
Biótipo x KNO <sub>3</sub>	1	48,17 <sup>ns</sup>	216 <sup>ns</sup>	96 <sup>ns</sup>	24 <sup>ns</sup>
Biótipo x dose	5	120,7 <sup>ns</sup>	122,8 <sup>ns</sup>	485,2***	189,2**
KNO <sub>3</sub> x dose	5	584,97***	675,2***	155,6*	368,8***
Biótipo x KNO <sub>3</sub> x dose	5	184,97 <sup>ns</sup>	194,8*	138,4*	192,8**
Resíduo	72	94,72	81,33	53,88	46
C.V. (%)	-	6,32	5,46	9,28	17,06

Ácido idolacético (AIA)

FV	GL	Quadrado médio			
		V	G	D	M
Biótipo	1	48,17 <sup>ns</sup>	204,16 <sup>ns</sup>	726**	160,16 <sup>ns</sup>
KNO <sub>3</sub>	1	2128,17***	2521,5***	2242,66***	8,16 <sup>ns</sup>
Dose	5	497,77***	355,9**	994,4***	318,7***
Biótipo x KNO <sub>3</sub>	1	280,17 <sup>ns</sup>	337,5 <sup>ns</sup>	1350***	337,5*
Biótipo x dose	5	1030,57***	1015,36***	707,6***	282,96***
KNO <sub>3</sub> x dose	5	716,97***	650,3***	375,46***	84,56 <sup>ns</sup>
Biótipo x KNO <sub>3</sub> x dose	5	866,57***	659,9***	554,8***	111,5 <sup>ns</sup>
Resíduo	72	103,38	90,72	68,33	56,38
C.V. (%)	-	3,25	5,93	7,2	17,2

Fluridone

FV	GL	Quadrado médio				
		V	G	D	M	A
Biótipo	1	66,67 <sup>ns</sup>	240,67 <sup>ns</sup>	337,5***	1,5 <sup>ns</sup>	423,66**
KNO <sub>3</sub>	1	10,67 <sup>ns</sup>	1600,67***	3800,17***	541,5**	2680,40***
Dose	5	455,07***	516,67***	175,77***	316,7***	24325,84***
Biótipo x KNO <sub>3</sub>	1	96 <sup>ns</sup>	10,67 <sup>ns</sup>	60,17 <sup>ns</sup>	104,17 <sup>ns</sup>	167,80 <sup>ns</sup>
Biótipo x dose	5	553,47***	409,87***	42,7 <sup>ns</sup>	247,9**	103,53 <sup>ns</sup>
KNO <sub>3</sub> x dose	5	1203,87***	517,07***	211,76***	109,5 <sup>ns</sup>	1058,05***
Biótipo x KNO <sub>3</sub> x dose	5	480,4***	203,07*	170,97***	8,97 <sup>ns</sup>	524,35***
Resíduo	72	81,11	77,11	26,61	54,61	51,06
C.V. (%)	-	5,3	4,5	15,92	14,21	4,21

(continua)

Conclusão – APÊNDICE V.

Diniconazole

FV	GL	Quadrado médio			
		V	G	D	M
Biótipo	1	3850,67***	7350***	2400***	1120,67***
KNO <sub>3</sub>	1	4592,67***	8970,67***	5890,67***	240,67 <sup>ns</sup>
Dose	5	3961,07***	1591,07***	631,2***	522,27***
Biótipo x KNO <sub>3</sub>	1	770,67**	2242,67***	1944***	0,67 <sup>ns</sup>
Biótipo x dose	5	540,67***	234,8 <sup>ns</sup>	185,6***	123,87 <sup>ns</sup>
KNO <sub>3</sub> x dose	5	449,07**	189,87 <sup>ns</sup>	165,87*	145,47 <sup>ns</sup>
Biótipo x KNO <sub>3</sub> x dose	5	119,87 <sup>ns</sup>	109,87 <sup>ns</sup>	116*	11,06 <sup>ns</sup>
Resíduo	72	96,55	109	35,88	78
C.V. (%)		7,3	2,3	13,57	15,86

Paclobutrazol

FV	GL	Quadrado médio			
		V	G	D	M
Biótipo	1	4160,67***	6080,17***	1441,5***	1837,5***
KNO <sub>3</sub>	1	2904***	4648,17***	6080,17***	0,17 <sup>ns</sup>
Dose	5	5803,87***	5276,3***	817,37***	1944,57***
Biótipo x KNO <sub>3</sub>	1	6 <sup>ns</sup>	661,5**	661,5**	0,17 <sup>ns</sup>
Biótipo x dose	5	521,87***	1402,97***	579,5***	569,9***
KNO <sub>3</sub> x dose	5	516,4***	226,17*	102,97 <sup>ns</sup>	234,17*
Biótipo x KNO <sub>3</sub> x dose	5	533,6***	517,1***	265,1**	172,57 <sup>ns</sup>
Resíduo	72	40,67	84,27	73,5	87,94
C.V. (%)		7,48	6,33	12,01	10,46

\*significativo a 5% de probabilidade.

\*\*significativo a 1% de probabilidade.

\*\*\*significativo a 0,1% de probabilidade.

<sup>ns</sup>= não significativo.

FV: Fontes de variação, GL: Graus de liberdade, V: Vigor, G: Porcentagem de germinação D: Sementes dormentes, M: Sementes mortas, A: Plântulas albinas e C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE VI – Resumo da análise de variância (ANOVA) para emergência de plântulas (%) de dois biótipos de azevém em função da aplicação de ABA, GA<sub>3</sub>, e Fluridone em casa de vegetação. Passo Fundo/RS, 2020

Ácido abscísico (ABA)

FV	GL	Quadrado médio		
		7DAP	14DAP	E
Biótipo	1	0,06 <sup>ns</sup>	1504,2**	266,67 <sup>ns</sup>
Dose	2	1,16***	7029,2***	1137,50*
Biótipo*Dose	2	0,02 <sup>ns</sup>	454,2 <sup>ns</sup>	279,17 <sup>ns</sup>
Resíduo	18	0,02	168,1	205,56
C.V. (%)		55,92	47,87	23,9

Ácido giberélico (GA<sub>3</sub>)

FV	GL	Quadrado médio		
		7DAP	14DAP	E
Biótipo	1	562,50 <sup>ns</sup>	302,5 <sup>ns</sup>	90 <sup>ns</sup>
Dose	4	810*	406,25 <sup>ns</sup>	456,25 <sup>ns</sup>
Biótipo*Dose	4	300 <sup>ns</sup>	396,25 <sup>ns</sup>	208,75 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	219,17	250,83	181,67
C.V. (%)		25,42	22,23	16,85

Fluridone

FV	GL	Quadrado médio		
		7DAP	14DAP	E
Biótipo	1	450 <sup>ns</sup>	1512,50*	1128,12*
Dose	3	1616,67**	1204,17**	844,79*
Biótipo*Dose	3	16,67 <sup>ns</sup>	37,50 <sup>ns</sup>	136,46 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	300	243,75	182,29
C.V. (%)		27,17	20,31	16,3

\*significativo a 5% de probabilidade.

\*\*significativo a 1% de probabilidade.

\*\*\*significativo a 0,1% de probabilidade.

<sup>ns</sup>= não significativo.

FV: Fontes de variação, GL: Graus de liberdade, 7DAP: Sete dias após aplicação, 14DAP: Quatorze dias após a aplicação, E: Porcentagem final de plântulas emergidas e C.V.: Coeficiente de variação.



**PPGAgro**

Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia