

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Rodrigo Roso

**FATORES ABIÓTICOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES, FLUXO  
DE EMERGÊNCIA DE *Echium plantagineum* L. EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO**

Santa Maria, RS  
2020

Rodrigo Roso

**FATORES ABIÓTICOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES, FLUXO DE EMERGÊNCIA DE *Echium plantagineum* L. EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Ubirajara Russi Nunes

Santa Maria, RS  
2020

Roso, Rodrigo  
FATORES ABIÓTICOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES, FLUXO DE  
EMERGÊNCIA DE *Echium plantagineum* L. EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO / Rodrigo Roso.- 2020.  
80 p.; 30 cm

Orientador: Ubirajara Russi Nunes  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2020

1. Banco de sementes 2. Controle químico 3. Flor-roxa  
4. Qualidade de luz I. Russi Nunes, Ubirajara II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2020

Todos os direitos autorais reservados a Rodrigo Roso. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: rodrigoroso@yahoo.com.br

Rodrigo Roso

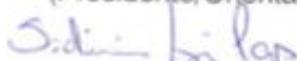
FATORES ABIÓTICOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES, FLUXO DE EMERGÊNCIA DE *Echium plantagineum* L. EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Agronomia**.

Aprovado em 10 de dezembro de 2019:



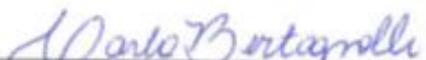
Ubirajara Russi Nunes, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)



Sidinei José Lopes, Dr. (UFSM)



Juçara Terezinha Paranhos, Dra. (UFSM)



Carla Medianeira Bertagnolli, Dra. (IFFar)



André Guareschi, Dr. (Forquímica)

Santa Maria, RS  
2019

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais **José Luiz Furlan Roso** e **Ivone Maria da Rosa Roso** pelo apoio e ajuda. Dedico também à minha avó, **Antonina Furlan Roso** que infelizmente não está mais entre nós para presenciar esse momento, onde me espelhei para ter força de lutar pela concretização dos meus sonhos. E em especial à minha esposa, **Caren Alessandra Müller** pelo apoio, ajuda, companheirismo e amor.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Em especial a Deus, pois sem ele nada seria possível.*

*Aos meus pais José Luiz Furlan Roso e Ivone Maria da Rosa Roso, meu irmão Leonardo Roso, minha avó Antonina Furlan Roso (in memorian) e toda minha família pelo incentivo, apoio e ajuda durante esse período de caminhada e formação.*

*Em especial à minha esposa Caren Alessandra Müller pelo incentivo, companheirismo, amor, amizade, apoio e ajuda prestada durante a condução dos experimentos, e principalmente pela sua compreensão.*

*Aos familiares de minha esposa, Erno Ernelo Müller, Cléria Reinehr Müller, Rubi Reinehr, Ella Friedrich Reinehr e Alfredo Waldemar Müller (in memorian).*

*Ao meu orientador Ubirajara Russi Nunes por me acolher em seu grupo de pesquisa e acreditar no meu potencial, auxiliando e contribuindo para minha formação.*

*À professora Juçara Terezinha Paranhos pela amizade e auxílio no planejamento, elaboração e correção dos trabalhos.*

*Aos professores Sidinei José Lopes e Sylvio Henrique Bidel Dornelles, pelo auxílio nos trabalhos de pesquisa.*

*Aos meus colegas de pós-graduação Joner Silveira Dalcin, Tiéle Stuker Fernandes, Eduardo José Ludwig e Cassiano Vasconcelos Santos pelo tempo de convivência, troca de experiência e trabalho.*

*À Universidade Federal de Santa Maria pela infraestrutura que permitiu minha formação durante esses anos de estudo e trabalho.*

*À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.*

*Aos meus colegas de trabalho da Secretaria Municipal de Agricultura e Pecuária da Prefeitura Municipal de Cachoeira do Sul, pela amizade e companheirismo.*

*A todos aqueles que não foram lembrados, mas direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e tornaram minha vida em Santa Maria mais feliz e agradável, meu sincero sentimento de gratidão.*

## RESUMO

### FATORES ABIÓTICOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES, FLUXO DE EMERGÊNCIA DE *Echium plantagineum* L. EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

AUTOR: Rodrigo Roso  
ORIENTADOR: Ubirajara Russi Nunes

*Echium plantagineum*, conhecida popularmente como flor-roxa, é considerada uma planta daninha anual, que infesta culturas e pastagens nos períodos de outono, inverno e primavera. Considerada uma espécie agressiva, de rápido crescimento, possui alta capacidade de competição sendo classificada como espécie de difícil controle. Além de apresentar adaptação a diferentes condições ambientais. Neste sentido, objetivou-se avaliar a influência de fatores abióticos na germinação de sementes, fluxo de emergência e banco de semente do solo em sistemas de manejo, e monitorar a germinação de sementes armazenadas em diferentes ambientes. Realizou-se experimentos em laboratório sob condições controladas, visando avaliar o efeito de qualidades de luz e superação de dormência, e influência de soluções com diferentes concentrações de alumínio e pH na germinação de sementes. Em campo, foi conduzido um experimento com quatro sistemas de cultivo, sendo os sistemas de plantio direto e preparo de solo, ambos com e sem controle de *E. plantagineum* em pastagem de azevém, no qual avaliou-se o fluxo de emergência mensal durante 25 meses e o banco de semente do solo. Além disso, foi monitorada a germinação e viabilidade de sementes armazenadas em diferentes ambientes por 12 meses: no solo enterradas a 20 cm de profundidade, câmara fria e condição ambiente em laboratório. Observou-se, quando não foi realizada a superação de dormência, que a qualidade da luz influenciou na germinação, ocorrendo maior germinação sob incidência de luz vermelha e menor na ausência de luz. Ao superar a dormência a qualidade da luz não interferiu na germinação. Verificou-se que a presença de alumínio no substrato apresentou efeito tóxico à germinação das sementes, sendo menor com o aumento das concentrações de alumínio. No entanto, a germinação de sementes de *E. plantagineum* foi pouco afetada pelo pH do substrato, não sendo um fator limitante à germinação. No experimento em campo observou-se que os fluxos de emergência se concentraram nos meses de janeiro a abril, com maior intensidade no sistema de plantio direto sem controle de *E. plantagineum*. O sistema de plantio direto com controle apresentou maior redução do banco de sementes do solo, já os sistemas com preparo de solo distribuem de forma vertical as sementes no perfil do solo, ocorrendo alimentação do banco de sementes. No armazenamento das sementes verificou-se redução da germinação a partir do quarto mês de armazenamento no solo e aumento das sementes dormentes. Diante disso, estratégias integradas de manejo como plantio direto e presença de cobertura do solo com restos culturais, atrelado ao controle com herbicida podem ser eficientes no manejo de *E. plantagineum* e redução do banco de semente do solo.

**Palavras-chave:** Banco de sementes. Controle químico. Flor-roxa. Qualidade de luz.

## ABSTRACT

### ABIOTIC FACTORS IN SEED GERMINATION, EMERGENCY FLOW OF *Echium plantagineum* L. IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

AUTHOR: Rodrigo Roso  
ADVISOR: Ubirajara Russi Nunes

*Echium plantagineum*, popularly known as the purple flower, is considered an annual weed, which infests crops and pastures in the fall, winter and spring periods. Considered an aggressive species of rapid growth, has high capacity competition being classified as a species difficult to control. In addition to presenting adaptation to different environmental conditions. In this sense, the objective was to evaluate the influence of abiotic factors on seed germination, emergence flow and soil seed bank in management systems, and to monitor the germination of seeds stored in different environments. Experiments were carried out in laboratory under controlled conditions to evaluate the effect of light qualities and dormancy overcoming, and influence of solutions with different aluminum concentrations and pH on seed germination. In the field, an experiment was conducted with four tillage systems, with no-tillage and tillage systems, both with and without control of *E. plantagineum* on ryegrass pasture, which evaluated the monthly emergency flow for 25 months and the soil seed bank. In addition, germination and viability of seeds stored in different environments for 12 months: in soil buried at 20 cm depth, cold chamber and ambient conditions in the laboratory were monitored. When dormancy was not overcome, light quality influenced germination, with higher germination occurring under red light incidence and lower germination in the absence of light. Overcoming dormancy the quality of light did not interfere with germination. It was verified that the presence of aluminum in the substrate presented toxic effect to seed germination, being smaller with the increase of aluminum concentrations. However, germination of *E. plantagineum* seeds was little affected by substrate pH and was not a limiting factor to germination. In the field experiment it was observed that the emergency flows were concentrated from January to April, with higher intensity in the no-tillage system without *E. plantagineum* control. The no-tillage system with control presented greater reduction of the soil seed bank, whereas the tillage systems distribute the seeds vertically in the soil profile, with seed bank feeding. Seed storage reduced germination after the fourth month of soil storage and increased dormant seeds. Given this, integrated management strategies such as no-till and presence of soil cover with crop residues, coupled with herbicide control can be efficient in the management of *E. plantagineum* and reduction of soil seed bank.

**Keywords:** Seed bank. Chemical control. Purple flower. Light quality.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1 - Valores de transmitância (%), em diferentes comprimentos de onda (nm), obtidos nos papéis celofane utilizados como filtros de luz.....31
- Figura 2 - Germinação acumulada de sementes de *Echium plantagineum* submetidas a diferentes qualidades de luz com (A) ou sem (B) superação de dormência.....34
- Figura 3 - Frequência relativa de germinação de sementes de *Echium plantagineum* submetidas à diferentes qualidades de luz com (A) ou sem (B) superação de dormência.....36

### CAPÍTULO II

- Figura 1 - Germinação aos quatro e 14 DAS (dias após a semeadura) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Echium plantagineum* expostas a concentrações ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) de sulfato de alumínio (A e B) e níveis de pH (C e D).....47
- Figura 2 - Comprimento de raiz, parte aérea (cm) e massa seca de plântulas ( $\text{mg planta}^{-1}$ ), aos 14 dias após a semeadura, oriundas de sementes de *Echium plantagineum* expostas a concentrações ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) de sulfato de alumínio (A e B) e níveis de pH (C e D).....49

### CAPÍTULO III

- Figura 1 - Temperaturas mínimas e máximas do ar e precipitação (A) no período compreendido entre os meses de dezembro de 2015 a dezembro de 2016(A) e junho de 2017 a julho de 2019 (B), coletados na estação meteorológica automática da Universidade Federal de Santa Maria. A precipitação (B) foi registrada no local do experimento no município de Restinga Seca.....63
- Figura 2 - Percentagem de germinação mensal de sementes de *Echium plantagineum* aos 4 e 14 DAS (dias após a semeadura) submetidas ao armazenamento por 12 meses em três condições: no solo (condições ambientais), laboratório (condições não controladas) e câmara fria ( $\pm 10^\circ \text{C}$ ), com e sem a superação de dormência com nitrato de potássio (0,2%) por 12 h seguido de ácido giberélico ( $500 \text{ mg L}^{-1}$ ) por 48 h.....68
- Figura 3 - Sementes dormentes viáveis de *Echium plantagineum* após o teste de germinação, submetidas ao armazenamento por 12 meses em três condições: no solo (condições ambientais), laboratório (condições não controladas) e câmara fria ( $\pm 10^\circ \text{C}$ ), com e sem a superação de dormência com nitrato de potássio (0,2%) por 12 h seguido de ácido giberélico ( $500 \text{ mg L}^{-1}$ ) por 48 h.....70

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1 – Germinação aos quatro e 14 DAS (dias após a semeadura), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de <i>Echium plantagineum</i> submetidas à diferentes qualidades de luz e superação da dormência.....	32
---	----

### CAPÍTULO II

Tabela 1 - Germinação aos quatro e 14 DAS (dias após a semeadura), índice de velocidade de germinação (IVG) e massa seca de plântulas ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de sementes de <i>Echium plantagineum</i> expostas a concentrações de sulfato de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) e níveis de pH.....	50
Tabela 2 - Comprimento de parte aérea (cm) e comprimento de raiz (cm) aos 14 DAS (dias após a semeadura), oriundas de sementes de <i>Echium plantagineum</i> expostas a concentrações de sulfato de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) e níveis de pH.....	51

### CAPÍTULO III

Tabela 1 - Fluxo de emergência (plantas $\text{m}^{-2}$ ) mensal de <i>Echium plantagineum</i> em sistema consolidado de plantio convencional e plantio direto, sem e com controle com herbicida.....	64
Tabela 2 - Banco de sementes no solo (sementes viáveis $\text{m}^{-2}$ ) de <i>Echium plantagineum</i> em diferentes datas de amostragem e profundidades.....	65
Tabela 3 - Banco de sementes no solo (sementes viáveis $\text{m}^{-2}$ ) de <i>Echium plantagineum</i> em diferentes sistemas de manejo e profundidades.....	66
Tabela 4 - Banco de sementes no solo (sementes viáveis $\text{m}^{-2}$ ) de <i>Echium plantagineum</i> em diferentes sistemas de manejo e épocas de amostragem.....	67

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 <i>Echium plantagineum</i> .....	14
2.2 INFLUÊNCIA DE FATORES ABIÓTICOS NA GERMINAÇÃO .....	15
2.3 BANCO DE SEMENTES E FLUXO DE EMERGÊNCIA .....	18
2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
<b>3. CAPÍTULO I - QUALIDADE DA LUZ E SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Echium plantagineum</i> L. (BORAGINACEAE)</b> .....	27
RESUMO .....	27
ABSTRACT .....	27
MATERIAL E MÉTODOS .....	30
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
CONCLUSÕES .....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
<b>4. CAPÍTULO II - GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Echium plantagineum</i> L. SUBMETIDAS A ESTRESSE POR ALUMÍNIO E pH</b> .....	42
RESUMO .....	42
ABSTRACT .....	42
INTRODUÇÃO .....	43
MATERIAL E MÉTODOS .....	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
CONCLUSÕES .....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
<b>5. CAPÍTULO III - FLUXO DE EMERGÊNCIA E BANCO DE SEMENTES NO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJOS E ARMAZENAMENTO DOS FRUTOS DE <i>Echium plantagineum</i> L.</b> .....	57
RESUMO .....	57
ABSTRACT .....	57
INTRODUÇÃO .....	58
MATERIAL E MÉTODOS .....	60
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	63
CONCLUSÕES .....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	76
<b>APÊNDICE</b> .....	77

## 1. INTRODUÇÃO

O sucesso de infestações depende de fatores abióticos, relacionados ao ambiente, e a biologia das plantas invasoras. Neste sentido, o conhecimento de fatores que influenciam a germinação, crescimento e desenvolvimento de plantas daninhas, pode auxiliar na tomada de decisão e no desenvolvimento de estratégias de manejo integrado, com o intuito de diminuir o banco de semente do solo e manejar as plantas daninhas de forma eficiente, visando a máxima produtividade das culturas. Dentre os fatores abióticos, a qualidade da luz pode exercer influência na germinação de sementes de algumas espécies fotossensíveis, atuando no estímulo do processo de germinação. Dessa forma, pode-se relacionar a qualidade de luz a presença e o tipo de planta de cobertura de solo, as quais possuem capacidade de filtrar a luz em qualidades que podem inibir ou estimular a germinação, de acordo com o método de manejo utilizado.

A presença de alumínio e o pH onde as sementes germinam também podem definir o sucesso ou fracasso de infestação de plantas daninhas. O alumínio é tóxico para muitas espécies de plantas daninhas, podendo causar acúmulo na parede celular, inibindo a divisão celular e o crescimento radicular. No entanto, algumas espécies de plantas daninhas toleram níveis elevados de alumínio, modificando a dinâmica populacional e, conseqüentemente, a capacidade de competição em decorrência das características do ambiente. Da mesma forma, a resposta ao pH do solo varia de acordo com a espécie, no entanto, é muito comum em plantas daninhas a tolerância a uma ampla faixa de pH, permitindo invadir diversos ambientes, não sendo um fator limitante à germinação e desenvolvimento da maioria das espécies.

O entendimento da germinação de sementes de espécies de plantas daninhas e a relação com fatores ambientais são importantes para conhecer o comportamento ecológico das espécies, assim como a capacidade de adaptação a novos ambientes. Neste sentido, o conhecimento de fluxos de emergência e banco de sementes do solo são importantes no desenvolvimento de estratégias de manejo. Uma vez, que o banco de sementes do solo apresenta comportamento dinâmico, caracterizando-se como uma reserva de sementes viáveis de plantas daninhas presentes na superfície, e dispersas no perfil do solo. Assim, técnicas de preparo de solo podem distribuir as sementes no perfil, contribuindo para a diminuição ou alimentação do banco de sementes do solo, dependendo da espécie. No sistema de plantio direto, as sementes

permanecem na superfície do solo, estando expostas às variações de temperatura e umidade, e ao ataque de insetos e patógenos, os quais podem contribuir para a morte e conseqüentemente redução do banco de sementes do solo.

Além disso, os sistemas de cultivo podem influenciar os fluxos de emergência e dinâmica populacional. Sistemas com revolvimento do solo podem causar o enterrio das sementes, favorecendo espécies com sementes maiores, proporcionando a alimentação do banco de semente, podendo permanecer dormentes durante longos períodos, dependendo da espécie. Apresentando condições para germinação após novo revolvimento de solo, com a exposição das sementes à superfície, sob condições adequadas de germinação, após superada a dormência. Diante disso, o banco de sementes do solo também tem a capacidade de retardar a mudança genética de uma população exposta a intensas pressões de seleção, garantindo a variabilidade genética nos fluxos de emergência.

*Echium plantagineum* L., pertencente à família Boraginaceae, popularmente conhecida no Sul do Brasil como flor-roxa ou soagem, é considerada uma planta daninha de inverno. Esta espécie apresenta rápido crescimento, com maior emergência em campo no final do verão e outono, caracterizando-se por apresentar inflorescência em tons de roxo, que recobrem beiras de estradas, rodovias, culturas de inverno e pastagens cultivadas, formando densas monoculturas quando em altas infestações e sem o controle com herbicida. Além disso, é considerada uma espécie agressiva e de difícil controle por muitos pesquisadores, sendo constatado resistência de biótipos a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) no estado do Rio Grande do Sul, observando-se ainda dificuldade de controle por outros herbicidas.

Diante disso, o conhecimento de aspectos relacionados à biologia e a influência de sistemas de cultivo no banco de semente e fluxo de emergência de *E. plantagineum*, pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias integradas de manejo, visando a redução do banco de sementes do solo e manejo eficiente desta planta invasora em culturas e pastagens cultivadas no período de outono, inverno e primavera.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Echium plantagineum*

*Echium plantagineum* L. (Boraginaceae), popularmente conhecida como flor-roxa ou soagem, é uma espécie herbácea, anual, nativa da Europa, e encontrada no sul da França, Itália, Espanha, Ilhas Canárias, leste da Criméia, norte da África e sudeste da Ásia (SAINT-HILAIRE, 2009), sendo introduzida em países como Austrália, como uma planta ornamental de jardim (RANDLES, 1986; HULTING et al., 2007). No entanto, passou a ocupar áreas de cultivos agrícolas, pastagens cultivadas e campos nativos, tornando-se uma planta daninha problemática na Austrália (PRESTON, 2006). De acordo com relatos históricos, essa planta foi transportada para a América do Sul junto com sementes de legumes e cereais, aclimatando-se no Uruguai (SAINT-HILAIRE, 2009). No Sul do Brasil, foi introduzida possivelmente junto com sementes de azevém (*Lolium multiflorum* L.), instalando-se em áreas de pastagens cultivadas e produção de cereais, estando presente ainda em beiras de estradas e rodovias.

*E. plantagineum* apresenta no início do ciclo, antes do inverno, apenas uma roseta de folhas dispostas em séries. As folhas mais inferiores são sésseis e as superiores apresentam um curto pecíolo, ambas com formato espatulado, sendo que após o período vegetativo (final do inverno), o caule se desenvolve (um ou vários escapos de tamanho variável emergem do centro da roseta de folhas) (KISSMANN e GROTH, 1999; HULTING et al., 2007; MOREIRA e BRAGANÇA, 2010). Esses escapos contêm folhas, e na axila dessas folhas e na porção apical dos escapos surgem inflorescências do tipo monocásios ou escorpióides (HULTING et al., 2007). De acordo com Souza e Lorenzi (2012) essa espécie possui inflorescência escorpioide, apresentando flores com ovário súpero, bicarpelar, gamocarpelar e tetralocular (formação de uma parede secundária no ovário), com um óvulo por lóculo e gineceu ginobásico, que na maturação dos frutos esses se separam ficando unidos pela base do estilete. Os frutos são do tipo carcerulídeo (fruto seco indeiscente e unisseminado), cuja semente permanece unida ao fruto após a maturação, sendo a unidade de disseminação e propagação (MOREIRA e BRAGANÇA, 2010).

As plantas de *E. plantagineum* quando em alta infestação formam densas monoculturas, capazes de produzir até 30.000 sementes por m<sup>2</sup>, sendo a média de

produção 6000 sementes por m<sup>2</sup>, que podem germinar a qualquer momento do ano, mas a maior taxa de germinação ocorre no outono (GRIGULIS et al., 2001; BROWN e BETTINK, 2011). Além disso, como estratégia de sobrevivência e adaptação, as sementes desta espécie apresentam dormência, que pode ser superada no solo, através do tempo, ou juntamente com oscilações de temperatura, umidade e luz (PIGGIN, 1976).

A disseminação de sementes pode ocorrer de várias formas, dentre elas pelos animais, principalmente bovinos e ovinos, nos quais após ingeridos os frutos, passam intactos pelo sistema digestivo (PIGGIN, 1978). Diante disso, a propagação de *E. plantagineum* ocorre por meio de sementes, as quais garantem a sobrevivência e o sucesso da espécie nos agroecossistemas. No entanto, esse processo pode ser influenciado por vários fatores, tais como dormência, temperatura, fotoperíodo, disponibilidade hídrica, pH do solo, condições químicas (alumínio) e físicas do solo, e sistemas de manejo de solo (VIVIAN et al., 2008; DUDDU e SHIRTLIFFE, 2014; MAHMOOD et al., 2016). As sementes, por possuírem dormência, podem persistir no banco de semente do solo por até dez anos, no entanto a maior parte das sementes germinam dentro de dois anos, ocorrendo maior germinação e emergência no outono, com adaptação à irregularidades de precipitação (BROWN e BETTINK, 2011; SHEPPARD e SMYTH, 2012). Trabalhos realizados por Grigulis et al. (2001) indicaram que após 12 meses enterradas, cerca de 60-70% das sementes apresentavam-se viáveis no banco de semente do solo, permitindo a ocorrência de novos ciclos de infestações.

Essa espécie ainda possui plasticidade fenotípica, demonstrada pela variação de características morfológicas: altura de plantas, tamanho e massa de sementes, desencadeadas em resposta às variações de precipitação e temperatura (SHARMA e ESLER, 2008; KONARZEWSKI; MURRAY; GODFREE, 2012). Esses atributos permitiram expansão considerável em ambientes, com diferentes condições de solo, temperatura e precipitação (FLORENTINE et al., 2018).

## 2.2 INFLUÊNCIA DE FATORES ABIÓTICOS NA GERMINAÇÃO

A germinação incorpora eventos que iniciam com a absorção de água pelas sementes e termina com o alongamento do eixo embrionário através da emissão de sinais visíveis, como o aparecimento da radícula (BEWLEY e BLACK, 1994; BEWLEY,

1997). Segundo Orzari et al. (2013), a germinação de sementes é o resultado do balanço entre condições ambientais favoráveis e características intrínsecas das sementes, que resultam na retomada do crescimento do embrião originando uma plântula. Os fatores críticos presentes no ambiente como água, oxigênio, luz, temperatura, substâncias químicas, acidez do solo e salinidade, além da dormência, exercem influência significativa no processo germinativo, determinando quando e como a germinação acontece (BEWLEY e BLACK, 1994; LUZ et al., 2014)

Dentre os fatores abióticos, a temperatura é considerada um dos principais fatores que regem a germinação de sementes (ALI et al., 2013), influenciando a velocidade de absorção de água das sementes e as reações bioquímicas que determinam todo o processo (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000). Já a luz é responsável por desencadear o processo germinativo em grande parte das espécies de plantas daninhas, no entanto também pode inibir a germinação em algumas espécies (CANOSSA et al., 2007; ORZARI et al., 2013). Isso é possível, pelo fato da luz ser responsável pela ativação do fitocromo, que é um pigmento cuja função é captar sinais luminosos, podendo ou não estimular a germinação em algumas espécies (TAIZ et al., 2017). As sementes são divididas em três classificações distintas em relação à sensibilidade a luz. Sendo elas, fotoblásticas positivas cuja semente dependem da luz para promover a germinação, fotoblásticas negativas que possuem germinação reduzida ou inibida na presença da luz, e as fotoblásticas neutras cuja germinação independe da condição de luz (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000; MARCOS-FILHO, 2015).

O modo de ação do fitocromo depende do tipo de radiação incidente, sendo que a luz na região do vermelho (660 nm) e vermelho-distante (730 nm) promovem alteração da forma isomérica do fitocromo, modificando o balanço entre a forma ativa (FVe) e inativa (FV), respectivamente (VIDAVER, 1980; PEREIRA et al., 2011). Dessa forma, luz com alta relação vermelho/vermelho-distante (V/VD) pode induzir o fitocromo assumir forma ativa (FVe), desencadeando a germinação de sementes fotossensíveis, enquanto luz com baixa relação V/VD pode levá-lo a assumir forma inativa (FV), inibindo a germinação ou permanecendo dormentes (VIDAVER, 1980; VIVIAN et al., 2008). Com isso, as variações ambientais através da mudança na qualidade da luz incidente, sinalizam se as condições ambientais são favoráveis ou não para a germinação, crescimento e desenvolvimento da planta (BRANCALION et al., 2008). As respostas obtidas pela indução da germinação ao expor as sementes à

luz vermelha, podem estar relacionadas a regulação da expressão gênica da biossíntese de giberelina pelo fitocromo ativo, as quais atuam diretamente na promoção da germinação (TOYOMASU et al., 1998). De acordo com estudos promovidos por estes mesmos autores, o fitocromo tem a função de regular os níveis endógenos e a expressão gênica da biossíntese de giberelinas.

A acidez do solo também pode influenciar a germinação e o crescimento das plântulas, por liberar íons como alumínio aumentando a concentração disponível no solo, os quais podem ser tóxicos às plântulas (MAHMOOD et al., 2016). Embora em solos com pH baixo e alta concentração de alumínio ocorra germinação das sementes, o alumínio pode induzir a formação de compostos pécticos, resultando na perda de elasticidade das células e paralisação da divisão celular, evoluindo para a morte da plântula (EZAKI et al., 2008; YAMASHITA e GUIMARÃES, 2011; RODRIGUES et al., 2017). O teor de  $Al^{3+}$  geralmente ocorre em baixas concentrações em solos com pH acima de 5,5 e altas concentrações em solos com pH mais baixo (KERBAUY, 2004). Na forma tóxica, ao ser absorvido pelas raízes das plantas ocorre interferência na divisão celular dos ápices radiculares e conseqüentemente inibição do crescimento de raízes primárias e secundárias (RYAN et al., 2011). Além disso, pode interromper outras funções, incluindo o alongamento radicular, absorção de nutrientes (especialmente cálcio e potássio), induzir o estresse oxidativo, interromper o citoesqueleto e processos apoplásticos e afetar o transporte intracelular (HORST; WANG; ETICHA, 2010; RYAN et al., 2011). Além disso, causa rupturas transversais que se desenvolvem em regiões subapicais da raiz, e camadas corticais externas das camadas de células internas, sendo que estas rupturas se relacionam com a ligação do alumínio à parede celular, aumentando assim a rigidez da parede celular e diminuindo a elasticidade (KOPITKE; BLAMEY; MENZIES, 2008; HORST; WANG; ETICHA, 2010). Além disso, o alumínio induz a uma rápida despolarização da membrana plasmática, que pode estar relacionada a inibição da atividade da  $H^+$ -ATPase, afetando o transporte de íons pela membrana, como por exemplo  $K^+$  (KHAN et al., 2009; HORST; WANG; ETICHA, 2010). O comprometimento da função da membrana plasmática, induzida pelo alumínio, pode estar relacionado ao estresse oxidativo, pela formação de espécies reativas de oxigênio, levando a peroxidação lipídica (JONES et al., 2006). Diante disso, a ligação do alumínio à parede celular e na face apoplástica da membrana plasmática do ápice radicular, região mais sensível

ao alumínio, prejudica as funções apoplásticas e simplásticas, cuja ruptura leva a inibição do crescimento radicular (HORST; WANG; ETICHA, 2010).

O pH é um controlador das vias metabólicas e da permeabilidade das membranas, sendo o transporte de muitas substâncias desencadeado pela diferença de concentração de pH nas células, o qual afeta inúmeras reações enzimáticas, podendo influenciar na velocidade de germinação das sementes (DAVIS, 1980; KERBAUY, 2004; TAIZ et al., 2017). É reconhecida a importância ecológica e agrônômica de se considerar o pH onde as plantas crescem e se reproduzem, uma vez que a maioria dos solos brasileiros possuem média a alta acidez, o qual influencia diretamente no desenvolvimento das plantas (MONQUERO et al., 2012). A habilidade de sobrevivência em certos valores de pH muda conforme a espécie de planta, modificando a dinâmica populacional e por consequência a capacidade de competição de plantas daninhas (WEAVER e HAMILL, 1985). Assim, cada espécie possui um pH ideal para a germinação, no entanto muitas espécies de plantas daninhas, como *Echium plantagineum* podem tolerar faixas amplas de pH (MAHMOOD et al., 2016; FLORENTINE et al., 2018). Diante disso, vários fatores abióticos influenciam a germinação de sementes, podendo determinar o sucesso de infestações de espécies daninhas em sistemas agrícolas.

### 2.3 BANCO DE SEMENTES E FLUXO DE EMERGÊNCIA

Os solos agrícolas podem conter milhares de sementes de plantas daninhas por metro quadrado, e entender os fatores que afetam a dinâmica do banco de sementes pode ajudar a desenvolver programas integrados de manejo (KUMARI; PRADHAN; CHAUHAN, 2018). O banco de sementes do solo se caracteriza por apresentar comportamento dinâmico, devido ao constante acréscimo pela produção e dispersão, perda de sementes por predação, germinação e perda de viabilidade (MONQUERO e CHRISTOFFOLETI, 2005). Também pode ser caracterizado como uma reserva de sementes viáveis de plantas daninhas presentes na superfície e dispersas no perfil do solo, garantindo a sobrevivência durante condições ambientais adversas e métodos de controle altamente eficazes (SINGH; BHULLAR; CHAUHAN, 2015; PAZUCH et al., 2015). Neste sentido, consiste em novas sementes de plantas daninhas dispersas recentemente e sementes mais velhas, dormentes, podendo permanecer viáveis no solo por vários anos permitindo a perpetuação da espécie,

sendo que na prática o banco de sementes também inclui os tubérculos, bulbos, rizomas e outras estruturas vegetativas através das quais ocorre a propagação (MENALLED, 2008; VASCONCELOS; SILVA; LIMA, 2012; SINGH; BHULLAR; CHAUHAN, 2015; PAZUCH et al., 2015; KUMARI; PRADHAN; CHAUHAN, 2018). Estando relacionado à diversidade de espécies que compõe às populações de plantas daninhas no solo. Além disso, não serve apenas como uma história física dos sucessos e fracassos do passado dos sistemas de cultivo, mas também pode ajudar os produtores a prever o grau em que a competição com as plantas daninhas poderá afetar a produtividade e qualidade do produto colhido (KUMARI; PRADHAN; CHAUHAN, 2018).

A emergência das plantas daninhas está diretamente relacionada ao banco de sementes do solo, que pode ser afetado pelas práticas de manejo e pelos métodos de controle, que possuem potencial para alterar a dinâmica das espécies no sistema (ADERETI et al., 2014). Por exemplo, o sistema de plantio direto pode alterar a composição da comunidade infestante em um agroecossistema por não apresentar revolvimento do solo e ter o controle químico como principal meio de manejo das plantas daninhas (GOMES e CHRISTOFFOLETI, 2008). Além disso, no sistema de plantio direto, as sementes encontram-se mais concentradas na superfície do solo, em relação ao sistema com preparo de solo, no qual possui maior distribuição vertical das sementes no perfil do solo, podendo permanecer dormentes por longos períodos (IKEDA et al., 2007). A dormência pode ser considerada um mecanismo de dispersão da germinação ao longo do tempo, podendo criar problemas futuros de infestações por plantas daninhas (MENALLED, 2008; PAZUCH et al., 2015). Várias causas podem estar atreladas à dormência, como a impermeabilidade do tegumento, imaturidade fisiológica do embrião, presença de substâncias inibidoras, embrião dormente, além da combinação desses fatores, podendo a mesma espécie possuir mais de uma causa de dormência (VIVIAN et al., 2008; PAZUCH et al., 2015).

As sementes de plantas daninhas dispersam-se horizontal e verticalmente no perfil do solo. A distribuição horizontal de sementes geralmente segue a direção das linhas de cultivo ou em reboleiras, já a distribuição vertical no perfil do solo é influenciada pelo tipo de cultivo ou preparo de solo (MENALLED, 2008). Neste sentido, técnicas de preparo de solo, que resultam no enterrio das sementes, proporcionando distribuição vertical no perfil do solo, podem causar a morte ou a alimentação do banco de sementes do solo, dependendo da espécie (JAKELAITIS; SOARES; CARDOSO,

2014). Além disso, as características do solo também podem influenciar a distribuição das sementes no perfil (MENALLED, 2008). Nas sementes enterradas em profundidade, a ação de fatores externo é menos intensa e a sobrevivência no solo é maior na maioria das espécies de plantas daninhas, no entanto a manutenção da viabilidade das sementes está diretamente relacionada às características das sementes, sendo a composição do tegumento a mais importante (TORRESEN e SKUTERUD, 2002; JAKELAITIS; SOARES; CARDOSO, 2014).

A dinâmica de sementes no solo, composta por sementes viáveis distribuídas no perfil e na superfície do mesmo, é caracterizada pela entrada das sementes, através da dispersão pelas plantas, permanência destas quando não germinam por estarem dormentes ou em condições inadequadas para germinação, e saída através da germinação, senescência, predação ou morte (MONQUERO e CHRISTOFFOLETI, 2005; GALVAN et al., 2015). Diante disso, o estudo do tamanho e a composição do banco de sementes são determinantes para o desenvolvimento e aplicação de técnicas de manejo para o controle de espécies invasoras, possibilitando a antecipação de práticas agronômicas (VISMARA et al., 2007). Além dos sistemas de cultivo, o uso de herbicida também pode influenciar a variabilidade e densidade de espécies do banco de sementes do solo, podendo ou não estar associado aos sistemas com preparo de solo e rotação de cultura (MARTINS e CHRISTOFFOLETI, 2014).

O banco de sementes do solo em uma área é geralmente estimado por dois métodos de amostragem. Caso não se tenha informações prévias em relação a distribuição de sementes recomenda-se a amostragem do solo em “W”, devendo amostrar de forma significativa, com representatividade da área, geralmente utilizando trado tubular (CHRISTOFFOLETI e CAETANO, 1998). A separação direta das sementes utilizando peneira ou flotação, é o método mais rápido e eficiente, para a amostragem de sementes maiores (KUMARI; PRADHAN; CHAUHAN, 2018). Outro método utilizado é a emergência de plântulas infestantes em área previamente demarcada ou aleatoriamente (quadrado inventário), o qual tem sido o método mais comum utilizado para realizar levantamento fitossociológico, dependendo da espécie e estando diretamente relacionado ao tamanho da semente da espécie daninha (ROBERTS, 1981; VOLL; GAZZIERO; KARAM, 1995; VOLL; KARAM; GAZZIERO, 1997; HUSSAIN et al., 2017). A profundidade amostrada depende do objetivo de estudo e/ou do sistema de manejo utilizado. Geralmente, para sistemas com preparo

de solo as sementes concentram-se nos primeiros 20 cm, já em sistema de plantio direto as mesmas estão próximas a superfície, nos primeiros 10 cm (FUMANAL; GAUDOT; BRETAGNOLLE, 2008; KUMARI; PRADHAN; CHAUHAN, 2018).

Diante disso, com o crescente surgimento de espécies de plantas daninhas com resistência a herbicidas, estimar o banco de sementes de plantas daninhas do solo possibilita prever futuras infestações, podendo ser utilizado como ferramenta para desenvolver estratégias de manejos eficientes para o controle de plantas daninhas.

## 2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADERETI, R. O.; TAKIM, F. O.; ABAYOMI, Y. A. Effect of period of sugarcane cultivation on the abundance and distribution of weed seeds in the soil profile. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 507-513, 2014.

ALI, H. H. et al. Germination ecology of *Rhynchosia capitata*: an emerging summer weed in Asia. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, 2013.

BEWLEY, J. D. Seed germination and dormancy. **Plant Cell**, New York, v. 9, n. 7, p. 1055-1066, 1997.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

BRANCALION, P. H. S. et al. Efeito da luz e de diferentes temperaturas na germinação de sementes de *Heliocarpus popayanensis* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 225-232, 2008.

BROWN, K.; BETTINK, K. **Swan Weeds: Management Notes**, Flora Base – The Western Australian Flora, 2011. Disponível em: <[florabase.dpaw.wa.gov.au/browse/profile/6681](http://florabase.dpaw.wa.gov.au/browse/profile/6681)>. Acesso em 29/09/2019.

CANOSSA, R. S. et al. Profundidade de semeadura afetando a emergência de plântulas de *Alternanthera tenella*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 719-725, 2007.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, São Paulo, 4. ed. 2000. 588 p.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CAETANO, R. S. X. Soil seed banks. **Scientia agricola**, Piracicaba, v. 55, número especial, p. 74-78, 1998.

DAVIS, D. D. **Biochemistry of plants**. New York: Academic Press, v. 2, p. 581-611, 1980.

DUDDU, H. S. N.; SHIRTLIFFE, S. J. Variation of seed dormancy and germination ecology of cowcockle (*Vaccaria hispanica*). **Weed Science**, [S. l.], v. 62, n. 3, p. 483-492, 2014.

EZAKI, B. et al. Wild plants, *Andropogon virginicus* L. and *Miscanthus sinensis* anders, are tolerant to multiple stresses including aluminum, heavy metals and oxidative stresses. **Plant Cell Reports**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 951–961, 2008.

FLORENTINE, S. et al. Seed germination response of a noxious agricultural weed *Echium plantagineum* to temperature, light, pH, drought stress, salinity, heat and smoke. **Crop e Pasture Science**, [S. l.], v. 69, n. 1, p. 326-333, 2018.

- FUMANAL, B.; GAUDOT, I.; BRETAGNOLLE, F. Seed-bank dynamics in the invasive plant, *Ambrosia artemisiifolia* L. **Seed Science Research**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 101-114, 2008.
- GALVAN, J. et al. Evolution of ryegrass seed banks depending on soil tillage and crops. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 183-191, 2015.
- GOMES, JR. F. G.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Biologia e manejo de plantas daninhas em áreas de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 789-798, 2008.
- GRIGULIS, K. et al. The comparative demography of the pasture weed *Echium plantagineum* between its native and invaded ranges. **Journal of Applied Ecology**, Reino Unido, v. 38, n. 1, p. 281-290, 2001.
- HORST, W. J.; WANG, Y. X.; ETICHA, D. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. **Annals of Botany**, [S. l.], v. 106, n. 1, p. 185-197, 2010.
- HULTING, A.; KRENZ, J.; PARKER, R. Paterson's curse *Echium plantagineum* in the Pacific Northwest. **A Pacific Northwest extension publication**, Oregon, p. 602-E, 2007.
- HUSSAIN et al. A comparative study of soil weed seed bank determination in pothwar region by using different methodologies. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 310-315, 2017.
- IKEDA, S. F. et al. Banco de sementes em sistemas de cultivo lavoura-pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1545-1551, 2007.
- JAKELAITIS, A.; SOARES, M. P.; CARDOSO, I. S. Banco de sementes de plantas daninhas em solos cultivados com culturas e pastagens. **Global Science e Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 2, p. 63-73, 2014.
- JONES, D. L. et al. Spatial coordination of aluminium uptake, production of reactive oxygen species, callose production and wall rigidification in maize roots. **Plant, Cell and Environment**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 1309-1318, 2006.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 2004. 447 p.
- KHAN, M. S. H. et al. Relative abundance of delta<sup>5</sup>-sterols in plasma membrane lipids of root-tip cells correlates with aluminum tolerance of rice. **Physiologia Plantarum**, [S. l.], v. 135, n. 1, p. 73-83, 2009.
- KONARZEWSKI, T. K.; MURRAY, B. R.; GODFREE, R. C. Rapid development of adaptive, climate-driven clinal variation in seed mass in the invasive annual forb *Echium plantagineum* L. **Plos one**, Norway, v. 7, n. 12, p. e49000, 2012.

KOPITTKE, P. M.; BLAMEY, F. P. C.; MENZIES, N. W. Toxicities of soluble Al, Cu, and La include ruptures to rhizodermal and root cortical cells of cowpea. **Plant and Soil**, [S. l.], v. 303, n. 1, p. 217-227, 2008.

KIM, S.; PARK, C. Gibberellic acid-mediated salt signaling in seed germination. **Plant Signal Behav**, v. 3, n. 10, p. 877-879, 2008.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Bernardo do Campo: Basf., 1999.

KUMARI, S.; PRADHAN, S. S.; CHAUHAN, J. Dynamics of weed seed bank and its management for sustainable crop production. **International Journal of Chemical Studies**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 643-647, 2018.

LUZ, F. N. et al. Interferência de luz, temperatura, profundidade de semeadura e palha na germinação e emergência de *Murdannia nidiflora*. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 1, p. 26-33, 2014.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MAHMOOD, A. H. et al. Influence of various environmental factors on seed germination and seedling emergence of a noxious environmental weed: green galenia (*Galenia pubescens*). **Weed Science**, [S. l.], v. 64, n. 3, p. 486-494, 2016.

MARTINS, B. A. B.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Herbicide efficacy on *Borreria densiflora* control in pre- and post-emergence conditions. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 817-825, 2014.

MENALLED, F. **Weed Seedbank Dynamics e Integrated Management of Agricultural Weeds**. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University-Bozeman. 2008. Disponível em: <[www.msu.extension.org/publications.asp](http://www.msu.extension.org/publications.asp)> Acesso em: 29/09/2019.

MONQUERO, P. A. et al. Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 47-55, 2008.

MONQUERO, P. A. et al. Profundidade de semeadura, pH, textura e manejo da cobertura do solo na emergência de plântulas de *Rottboellia exaltata*. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2799-2812, 2012.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas e herbicidas como fator de seleção. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2. p. 203-209, 2005.

MOREIRA, H. J. da C.; BRAGANÇA, H. A. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes – Cultivos de verão**, Campinas. 2010.

- ORZARI, I. et al. Germinação de espécies da família Convolvulaceae sob diferentes condições de luz, temperatura e profundidade de semeadura. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 53-61, 2013.
- PAZUCH, D. et al. Superação da dormência em sementes de três espécies de *Ipomoea*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, 2015.
- PIGGIN, C. M. Factors affecting seed germination of *Echium plantagineum* L. and *Trifolium subterraneum* L. **Weed Research**, [S. l.], v. 16, p. 337-344, 1976.
- PIGGIN, C. M. Flowering and seed production of *Echium plantagineum* L. **Weed Research**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 83-87, 1978.
- PEREIRA, M. C. et al. Superação de dormência e influência dos fatores ambientais na germinação de sementes de *Spermacoce latifolia*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 3, p. 427- 431, 2011.
- PRESTON, C. Resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in *Echium plantagineum* L. **Fifteenth Australian Weeds Conference**, Austrália, p. 530-533, 2006.
- RANGLES, J. W. Susceptibility of *Echium plantagineum* L. to tobacco mosaic, alfalfa mosaic, tobacco ringspot, and tobacco necrosis viroses. **Australasian Plant Pathology**, Austrália, v. 15, n. 1, 1986.
- RYAN, P. R. et al. The identification of aluminum-resistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 62, n. 1, p. 9–20, 2011.
- RODRIGUES, A. A. et al. Aluminum influence on *Hancornia speciosa* seedling emergence, nutrient accumulation, growth and root anatomy. **Flora**, [S. l.], v. 236–237, n. 1, p. 9-14, 2017.
- SAINT-HILAIRE, A. de. **Plantas usuais dos brasileiros**. Organizado por: BRANDÃO, M. da G. L.; PIGNAL, M. Tradução: MOURÃO, C. P. B.; SANTIAGO, C. F. Belo Horizonte: Código Comunicação, 2009. 392 p.
- SHARMA, G. P.; ESLER, K. J. Phenotypic plasticity among *Echium plantagineum* populations in different habitats of Western Cape, South Africa. **South African Journal of Botany**, [S. l.], v. 74, n. 1, p. 746-749, 2008.
- SHEPPARD, A. W.; SMYTH, M. J. '*Echium plantagineum* L. – Paterson's curse'. In: JULIEN, M.; MCFADYENAND, R.; CULLEN, J (eds.), Biological Control of Weeds in Australia. **CSIRO Publishing**, Melbourne, p. 211-226, 2012.
- SINGH, M.; BHULLAR, M. S.; CHAUHAN, B. S. Seed bank dynamics and emergence pattern of weeds as affected by tillage systems in dry direct-seeded rice. **Crop Protection**, [S. l.], v. 67, n. 1, p. 168-177, 2015.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2012. 704 p.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento vegetal**. Tradução: MASTROBERTI, A. A. et al. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TORRESEN, K. S.; SKUTERUD, R. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. IV. Changes in the weed flora and weed seedbank. **Crop Protection**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 179-193, 2002.

TOYOMASU, T. et al. Phytochrome regulates gibberellin biosynthesis during germination of photoblastic lettuce seeds. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 118, n. 1, p. 1517-1523, 1998.

VASCONCELOS, M. da C. C. de; SILVA, A. F. A. da; LIMA, R. da S. Interferência de Plantas Daninhas sobre Plantas Cultivadas. **Agropecuária Científica no Semi-árido**, Pedra Mole, v. 8, n. 1, p. 01-06, 2012.

VIDAVER, W. **Light and seed germination**. In: KHAN, A. A. The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. New York: North-Holland Publishing Company, p. 181-192, 1980.

VISMARA, L. S.; OLIVEIRA, V. A.; KARAM, D. Revisão de modelos matemáticos da dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas em agrossistemas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 1-11, 2007.

VIVIAN, R. et al. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência – breve revisão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 695-706, 2008.

VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D. Dinâmica de populações de *Brachiaria plantaginea* (link) hitch. sob manejos de solo e de herbicidas. Sobrevivência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 12, p.1387-1396, 1995.

VOLL, E.; KARAM, D.; GAZZIERO, D. L. P. Dinâmica de populações de *Commelina benghalensis* sob manejos de solo e de herbicidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 6, p.571-578, 1997.

ROBERTS, H. A. Seed banks in soils. **Advances in Applied Biology** 6, 1981. 56 p.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* em função da presença de alumínio no substrato. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 599-601, 2011.

WEAVER, S. E.; HAMILL, A. S. Effects of soil pH on competitive ability and leaf nutrient content of corn (*Zea mays* L.) and three weed species. **Weed Science**, [S. l.], v. 33, n. 4, p. 447-451, 1985.

### 3. CAPÍTULO I - QUALIDADE DA LUZ E SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Echium plantagineum* L. (BORAGINACEAE)

#### RESUMO

A luz é considerada um fator que influencia a germinação das sementes de muitas espécies de plantas daninhas, podendo sinalizar se as condições ambientais são favoráveis ou não para a germinação. Objetivou-se estudar a influência da qualidade da luz e superação de dormência na germinação de sementes de *Echium plantagineum*. Realizou-se um experimento fatorial 2 x 6, com e sem superação de dormência com nitrato de potássio e ácido giberélico; seis qualidades de luz, obtidas através de filtros de luz: azul, verde, vermelho, vermelho-distante, luz branca e ausência de luz. As avaliações realizadas foram índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), germinação aos quatro e 14 dias após a semeadura (DAS), germinação acumulada e frequência relativa de germinação. Observou-se interação significativa entre as qualidades de luz e a superação ou não de dormência das sementes para as variáveis estudadas. Não houve efeito significativo das qualidades de luz, nas variáveis avaliadas, ao realizar superação de dormência, apresentando germinação acima de 90% em todas as qualidades de luz. Todavia, sem superação de dormência, observou-se maior IVG, germinação aos quatro e 14 DAS para o filtro de luz vermelha com 5,4, 29 e 45%, respectivamente. Quando as sementes foram submetidas à ausência de luz, e sem superação de dormência, houve apenas 7% de germinação aos 14 DAS. As sementes de *E. plantagineum* apresentam maior germinação sob incidência de luz vermelha, sem superação de dormência, sendo classificadas como fotoblásticas positivas preferenciais, desde que não seja superada a dormência.

**Palavras-chave:** Flor roxa. Fotoblastismo. Fitocromo. Papel celofane. Planta daninha.

#### LIGHT QUALITY AND DORMANCY OVERCOMING IN SEED GERMINATION OF *Echium plantagineum* L. (BORAGINACEAE)

#### ABSTRACT

Light is considered a factor that influences the seed germination of many weed species, and it can signal whether the environmental conditions are favorable or are not favorable for germination. We aimed to study the influence of light quality and dormancy overcoming in seed germination of *Echium plantagineum* L. We carried out a 2 x 6 factorial experiment, with and without dormancy overcoming with potassium nitrate and gibberellic acid; six light qualities, obtained through the light filters: blue, green, red, far-red, white light and absence of light. The evaluations performed were germination speed index (GSI), average germination time (AGT), germination at the four and 14 days after seeding (DAS), accumulated germination and relative frequency

of germination. We observed significant interaction among the light qualities and seed dormancy overcoming or not for the studied variables. There was no significant effect of light qualities, in the evaluated variables, when performing dormancy overcoming, presenting germination above 90% in all the light qualities. However, without dormancy overcoming, we observed greater GSI, germination at four and 14 DAS for the red light filter with 5, 4, 29 and 45%, respectively. When the seeds were submitted to the absence of light, and without dormancy overcoming, there was only 7% of germination at 14 DAS. The seeds of *E. plantagineum* presented greater germination under incidence of red light, without dormancy overcoming, being classified as preferably positively photoblastics, provided that the dormancy is not overcome.

**Keywords:** Purple flower. Photoblastism. Phytochrome. Cellophane paper. Weed.

## INTRODUÇÃO

*Echium plantagineum* L., Boraginaceae, conhecida no sul do Brasil como flor roxa ou soagem, caracteriza-se como uma importante planta daninha de inverno, infestando áreas de cultivos anuais, além de pastagens e margens de estradas. Esta espécie é nativa de países da Europa próximos ao Mediterrâneo e norte da África, sendo considerada planta daninha com importância econômica na Austrália, África do Sul, Canadá, Nova Zelândia e América do Sul (WESTON; WESTON; McCULLY, 2012; FLORENTINE et al., 2018).

Apresenta rápido crescimento, alta produção de área foliar, sistema radicular agressivo, adaptabilidade às condições de deficiência hídrica, variações de temperatura e fotoperíodo, e ainda, elevada habilidade de competição por água e nutrientes (SHARMA e ESLER, 2008; KONARZEWSKI; MURRAY; GODFREE, 2012). Além disso, possui plasticidade fenotípica demonstrada pela variação das características morfológicas, altura de planta, tamanho e massa de frutos, desencadeadas em resposta a fatores abióticos (PIGGIN, 1976; KONARZEWSKI; MURRAY; GODFREE, 2012). Outra forma de adaptabilidade às condições ambientais é sua capacidade de produção de sementes, podendo superar 6000 sementes por metro quadrado em altas infestações, apresentando dormência que contribui para a distribuição dos fluxos de emergência no tempo e permanência no banco de sementes do solo (PIGGIN, 1976; ROSO et al., 2017; FLORENTINE et al., 2018). Caracteriza-se pela inflorescência escorpioides e frutos denominados carcerulídeos (fruto seco indeiscente e unisseminado), cuja semente permanece unida ao fruto, sendo a unidade de disseminação e propagação (MOREIRA e BRAGANÇA, 2010; SOUZA e LORENZI, 2012).

A germinação das sementes é o resultado do balanço entre características intrínsecas das mesmas e condições ambientais favoráveis, que resultam na retomada do crescimento do embrião originando uma plântula (ORZARI et al., 2013). Nesse sentido, a germinação e emergência de sementes viáveis depende do vigor ou dormência das mesmas e/ou a fatores ambientais, tais como: umidade, substâncias químicas, acidez do solo, salinidade, temperatura e luz (LUZ et al., 2014). Assim, sementes de plantas daninhas podem permanecer viáveis no solo por longos períodos e germinar uma vez que a dormência seja superada e as condições ambientais sejam favoráveis (YAMASHITA; GUIMARÃES; CAVENAGHI, 2011).

Muitas espécies de plantas daninhas são fotossensíveis (ORZARI et al., 2013), onde a luz pode desencadear ou inibir o processo germinativo das sementes. Isso é possível, pelo fato da luz ser responsável pela ativação do fitocromo, que é um pigmento cuja função é captar sinais luminosos, podendo ou não estimular a germinação em algumas espécies (TAIZ et al., 2017). A resposta à luz apresenta-se de forma distinta entre as espécies, sendo o papel do fitocromo na superação de dormência um dos poucos mecanismos totalmente conhecidos que atuam na germinação (VIVIAN et al., 2008).

O modo de ação do fitocromo depende do tipo de radiação incidente, sendo que a luz na região do vermelho (660 nm) e vermelho-distante (730 nm) promovem alteração da forma isomérica do fitocromo, modificando o balanço entre a forma ativa (FVe) e inativa (FV), respectivamente (PEREIRA et al., 2011). Dessa forma, alta relação vermelho/vermelho-distante (V/VD) pode induzir o fitocromo a assumir forma ativa (FVe), desencadeando a germinação de sementes fotossensíveis, enquanto que baixa relação V/VD pode levá-lo a assumir forma inativa (FV), inibindo a germinação, permanecendo dormentes (VIDAVER, 1980; VIVIAN et al., 2008). Com isso, as sementes detectam as variações ambientais através da mudança na qualidade da luz incidente, sinalizando se as condições ambientais são favoráveis ou não para a germinação, crescimento e desenvolvimento da planta (BRANCALION et al., 2008).

De forma geral, comprimentos de onda longos (vermelho-distante), do espectro de luz visível, penetram em maior profundidade no solo, em contrapartida, comprimentos de onda curtos (azul) são atenuados nos primeiros milímetros de solo (BLISS e SMITH, 1985). O efeito do solo filtrando o espectro de luz proporciona em teoria três ambientes diferentes, importantes na germinação de plantas daninhas. Dependendo do tipo e composição do solo, nos primeiros milímetros ocorre efeito

predominante da luz azul; após os primeiros milímetros esta desaparece e aumenta a relação V/VD (forma ativa do fitocromo). Porém, em maiores profundidades do solo, diminui a relação V/VD (BARRERO et al., 2012). Nesse sentido, a luz transmite informações às sementes, através da sua composição espectral e irradiância, as quais podem se orientar em relação à posição no perfil do solo (BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2014), influenciando a germinação e composição de infestações de plantas daninhas em cultivos agrícolas.

O conhecimento da biologia germinativa de *E. plantagineum* pode ajudar a desenvolver estratégias corretas de manejo, sendo alternativa ao controle químico, ou permitir desenvolver práticas de manejo integrado de plantas daninhas. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo estudar a influência da qualidade de luz e superação de dormência na germinação das sementes de *E. plantagineum*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS.

Os frutos de *E. plantagineum* foram coletados em novembro de 2016, manualmente de várias plantas homogeneizando e formando um lote, em lavoura com histórico de infestação por essa planta daninha ( $\pm 20$  plantas  $m^{-2}$ ), localizada no município de Restinga Seca, RS (29° 51' 29" latitude Sul e 53° 31' 41" longitude Oeste e altitude 72 m). A área da coleta caracteriza-se pelo cultivo de soja (*Glycine max*) no verão e azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno.

Coletou-se apenas os frutos de coloração escura e que se desprendiam facilmente da planta mãe, possuindo, aparentemente, maturidade fisiológica. Os mesmos passaram por um processo de limpeza manual, secos à sombra por cinco dias, e armazenados por seis meses, em sacos de papel Kraft à temperatura ambiente e local seco (laboratório) até a realização dos experimentos.

Os experimentos foram conduzidos em câmara de germinação do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.) em temperatura de 20 °C e fotoperíodo de 24 horas de luz artificial no interior da câmara (30  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de iluminância) (BRASIL, 2009; ROSO et al., 2017). Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições de 50 diásporos (carcerulídeo: fruto

concrecido com a semente), totalizando 200 por tratamento. Os testes foram conduzidos em caixas de acrílico transparentes do tipo gerbox (11,0 x 11,0 x 3,5 cm), sob três folhas de papel germiteste umedecidas com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco (BRASIL, 2009).

A qualidade da luz na germinação foi avaliada em um experimento bifatorial 2 x 6, com e sem superação de dormência e seis qualidades de luz, que foram obtidas através de filtros de luz com diferentes comprimentos de onda: azul (450 nm), verde (500 nm), vermelho (700 nm), vermelho-distante (760 nm), luz branca (380 a 760 nm) e ausência de luz. De acordo com a metodologia adaptada de Yamashita et al. (2008), para a obtenção das diferentes qualidades de luz (azul, verde e vermelho) as caixas tipo gerbox foram envolvidas por duas camadas de papel celofane com cores correspondente ao tratamento utilizado. No tratamento vermelho-distante, as caixas foram envolvidas por duas camadas de papel celofane vermelho e duas azuis. No tratamento com luz branca, as caixas gerbox não foram envolvidas com papel-celofane, e o tratamento com ausência de luz foi obtido através do envolvimento por duas camadas de papel alumínio. Durante as avaliações, para que não ocorresse interferência da luz branca na germinação, as avaliações foram realizadas em câmara escura na presença de luz verde (YAMASHITA et al., 2008).

Verificou-se a passagem de luz pelos papéis celofane, realizando leituras de porcentagem de transmitância utilizando um espectrofotômetro UV-Visível modelo Nova® 2000 UV, de acordo com a metodologia adaptada de Yamashita et al. (2008). Como célula de leitura, utilizou-se uma cubeta de quartzo com caminho óptico de 10 mm, onde os papéis foram colocados conforme utilizados durante a germinação envolvendo as caixas gerbox, realizando leituras em diferentes comprimentos de onda (Figura 1).

Nos tratamentos submetidos à superação de dormência, realizou-se a imersão dos diásporos em soluções de nitrato de potássio (0,2 %) por 12 horas, seguida pela imersão em ácido giberélico ( $500 \text{ mg L}^{-1}$ ) por 48 h, ocorrendo a lavagem dos diásporos após cada período de imersão, por 10 min em água corrente (ROSO et al., 2017).

As variáveis analisadas foram: germinação aos quatro (4) e 14 DAS (dias após a semeadura) e índice de velocidade de germinação (IVG) durante 14 dias, considerando semente germinada quando ocorresse a protusão da raiz primária ( $\geq 2$  mm) conforme Bewley e Black (1994). A porcentagem de germinação aos quatro e 14 DAS foi calculada de acordo com a metodologia descrita por Labouriau e Valadares

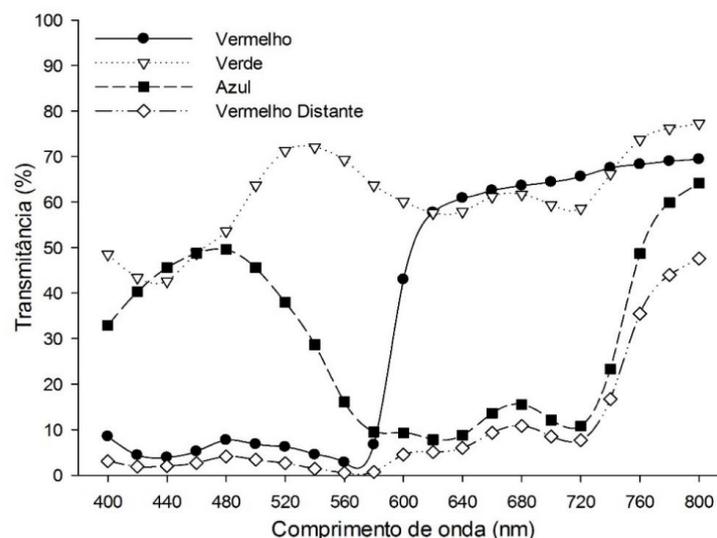
(1976). Já o IVG foi calculado pela equação segundo Maguire (1962) e o tempo médio de germinação (TMG) foi determinado conforme Furbeck, Bourland e Watson (1993). A partir dos resultados de germinação diária, utilizados para IVG, calculou-se a frequência relativa de germinação, pela metodologia de Labouriau e Valadares (1976) e demonstrou-se a germinação acumulada.

Os dados foram submetidos aos testes dos pressupostos, normalidade dos erros e homogeneidades de variâncias. Para as variáveis em porcentagem, os dados foram transformados para arco-seno  $\sqrt{\%/100}$ . Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) através do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott em 0,05 de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados de leituras de transmitância dos papéis celofane, utilizados como filtros de luz, observou-se que a metodologia utilizada apresentou resultados de acordo com o esperado (Figura 1).

Figura 1 – Valores de transmitância (%), em diferentes comprimentos de onda (nm), obtidos nos papéis celofane utilizados como filtros de luz.



Os papéis celofane desempenharam o papel de filtrar os comprimentos de onda do espectro da luz visível, apresentando picos de transmitância nas regiões do azul, verde, vermelho e vermelho-distante.

Observou-se interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as qualidades de luz e a superação ou não de dormência para as variáveis IVG, tempo médio de germinação (TMG) e germinação aos quatro e 14 DAS. Para essas variáveis, não houve efeito significativo das qualidades de luz incidente nas sementes as quais se realizou a superação de dormência. No entanto, houve influência das qualidades de luz nas referidas avaliações quando a superação de dormência não foi realizada, verificando-se diferenças significativas (Tabela 1). De forma geral, a superação de dormência proporcionou maiores valores de IVG e porcentagem de germinação aos quatro e 14 DAS e menores TMG, indicando rápida germinação, quando comparados aos tratamentos sem superação. Verificou-se germinação acima de 83 e 90% aos quatro e 14 DAS, respectivamente, ao realizar a superação de dormência, em todas as qualidades de luz (Tabela 1).

Tabela 1 – Germinação aos quatro e 14 DAS (dias após a semeadura), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de *Echium plantagineum* submetidas à diferentes qualidades de luz, com (CS) e sem (SS) superação de dormência.

Qualidades de luz	Germinação (%)				IVG		TMG (dias)	
	4 DAS		14 DAS		CS	SS	CS	SS
	CS <sup>3</sup>	SS	CS	SS				
Azul	85 <sup>nsA</sup>	11 <sup>bB</sup>	90 <sup>nsA</sup>	17 <sup>cB</sup>	12,7 <sup>nsA</sup>	2,0 <sup>cB</sup>	3,7 <sup>nsB</sup>	4,8 <sup>aA</sup>
Verde	85 <sup>A<sup>1</sup></sup>	10 <sup>bB</sup>	94 <sup>A</sup>	21 <sup>cB</sup>	13,0 <sup>A</sup>	2,3 <sup>cB</sup>	3,9 <sup>B</sup>	5,3 <sup>aA</sup>
Vermelho	83 <sup>A</sup>	29 <sup>aB</sup>	91 <sup>A</sup>	45 <sup>aB</sup>	13,1 <sup>A</sup>	5,4 <sup>aB</sup>	3,7 <sup>B</sup>	4,8 <sup>aA</sup>
Vermelho-distante	89 <sup>A</sup>	15 <sup>bB</sup>	93 <sup>A</sup>	22 <sup>cB</sup>	13,7 <sup>A</sup>	2,7 <sup>cB</sup>	3,5 <sup>B</sup>	5,0 <sup>aA</sup>
Luz branca	90 <sup>A</sup>	24 <sup>aB</sup>	93 <sup>A</sup>	37 <sup>bB</sup>	13,1 <sup>A</sup>	4,4 <sup>bB</sup>	3,6 <sup>B</sup>	4,7 <sup>aA</sup>
Ausência de luz	83 <sup>A</sup>	3 <sup>cB</sup>	90 <sup>A</sup>	7 <sup>dB</sup>	12,9 <sup>A</sup>	0,6 <sup>dB</sup>	3,7 <sup>B</sup>	7,8 <sup>bA</sup>
CV (%) <sup>2</sup>	9,86		5,89		4,85		7,41	

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Scott-knott ( $p > 0,05$ ); <sup>2</sup>coeficiente de variação; <sup>3</sup>superação da dormência com imersão das sementes em nitrato de potássio (0,2%) e ácido giberélico (500 mg L<sup>-1</sup>).

Quando as sementes não foram submetidas à superação de dormência, na qualidade de luz vermelha, observou-se maiores IVG e germinação aos quatro e 14 DAS, com 5,4, 29 e 45%, respectivamente, não diferindo da luz branca (24%) para germinação aos quatro DAS. Quando as sementes foram submetidas à ausência de luz e sem superação da dormência, observou-se menor IVG e germinação aos quatro

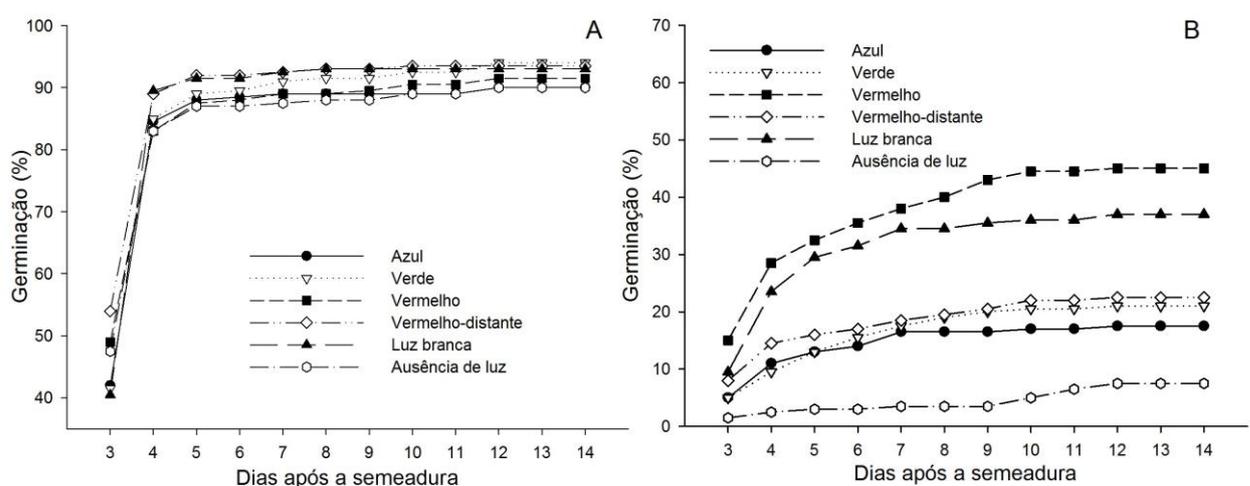
e 14 DAS, 0,6; 3,0 e 7,0%, respectivamente, e maior TMG (7,8 dias) o qual indica que a germinação ocorreu de forma lenta (Tabela 1). Esses resultados demonstram que as sementes de *E. plantagineum* apresentam dormência, que pode ser superada de forma eficiente utilizando nitrato de potássio (0,2%) e ácido giberélico (500 mg L<sup>-1</sup>), independente da qualidade da luz. E ainda, de forma menos eficiente, sem a superação da dormência, expondo as sementes às condições de luz vermelha, possivelmente pela maior conversão da forma inativa do fitocromo (Fv) para forma ativa (Fve) (YAMASHITA; GUIMARÃES; CAVENAGHI, 2011; BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2014), o processo germinativo é desencadeado. As respostas obtidas pela indução da germinação ao expor as sementes dormentes à luz vermelha podem estar relacionadas à regulação da expressão gênica da biossíntese de giberelina pelo fitocromo ativo, as quais atuam diretamente na promoção da germinação (TOYOMASU et al., 1998).

Segundo Bewley e Black (1994), para sementes fotoblásticas positivas preferenciais, comprimentos de onda da luz entre 650 e 700 nm (vermelho) promovem maiores percentuais de germinação, já comprimentos superiores a 730 nm (vermelho-distante) inibem a germinação. Resultados semelhantes foram observados nesse estudo, no qual filtros de luz vermelha proporcionaram maior germinação (45%) das sementes em comparação aos filtros de luz vermelho-distante (22%), quando as sementes não foram submetidas a superação da dormência. Assim como *E. plantagineum*, a maioria das sementes de espécies de plantas daninhas respondem à luz para germinar, pois não são espécies domesticadas, sendo o processo de germinação regulado pelo fitocromo e dependente de comprimentos de onda adequados para desencadear a germinação (YAMASHITA; GUIMARÃES; CAVENAGHI, 2011). A importância da luz vermelha na superação da dormência das sementes e a inibição da germinação pela luz azul e vermelho-distante foi relatada para várias espécies na literatura, dentre elas *Lolium rigidum* (GOGGIN; STEADMAN; POWLES, 2008), *Murdannia nudiflora* (FERRARESI; YAMASHITA; CARVALHO, 2009), *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* (YAMASHITA; GUIMARÃES; CAVENAGHI, 2011) e *Brachypodium distachyon* (BARRERO et al., 2012).

Analisando os dados da germinação acumulada das sementes com superação da dormência de *E. plantagineum* (Figura 2A), observa-se que houve rápida germinação em todas as qualidades de luz, inclusive escuro contínuo, complementando os resultados de IVG, com germinação acima de 83% no quarto dia

após a semeadura. Esses resultados indicam que, uma vez superada a dormência, o processo germinativo é desencadeado, independente de estímulo luminoso. De acordo com Toyomasu et al. (1998), a indução da germinação ao expor as sementes à luz vermelha, podem estar relacionadas a biossíntese de giberelina pelo fitocromo ativo, o qual atua diretamente na promoção da germinação. Dessa forma, os tratamentos de superação da dormência utilizando ácido giberélico podem ter substituído o efeito da luz vermelha na germinação, por isso as sementes tratadas com ácido giberélico germinaram independente da qualidade da luz. Segundo Carvalho e Nakagawa (2000), a luz é um dos agentes naturais de superação da dormência de sementes em algumas espécies, no entanto, após esta ser superada por ação da luz ou por influência de outros fatores, a germinação ocorrerá tanto na presença quanto ausência de luz. Entretanto, dependendo da espécie, a luz pode promover a germinação ou induzir a dormência, sendo considerada um sinal ambiental importante na germinação (BARRERO et al., 2012; BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2014).

Figura 2– Germinação acumulada de sementes de *Echium plantagineum* submetidas a diferentes qualidades de luz com (A) ou sem (B) superação de dormência (imersão dos diásporos em soluções de nitrato de potássio (0,2 %) por 12 horas, seguida pela imersão em ácido giberélico (500 mg L<sup>-1</sup>) por 48 h).



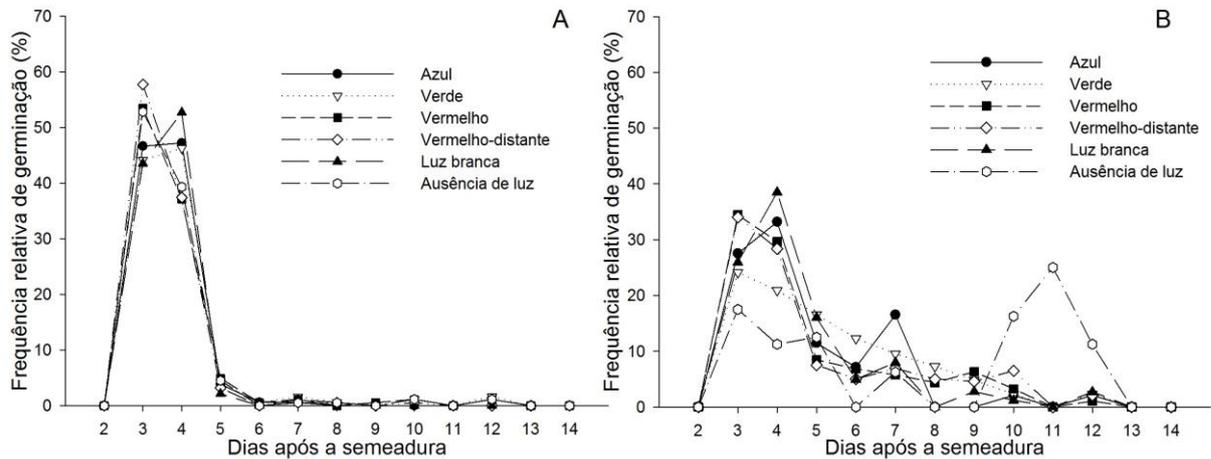
No entanto, sem a superação da dormência, a luz promoveu a germinação das sementes de *E. plantagineum*, embora em menores porcentagens. Houve germinação acumulada próxima a 30 e 25% no quarto DAS ao utilizar filtros de luz vermelha e branca, respectivamente (Figura 2B). Ocorrendo aumento gradual da germinação

acumulada nas sementes submetidas a esses filtros de luz até os 14 DAS, com germinação final de 45 e 37%, respectivamente. Os filtros de luz azul, verde e vermelho-distante também proporcionam aumento gradual na germinação acumulada até os 14 DAS, no entanto observou-se apenas 17, 21 e 22% de germinação final, respectivamente. Na ausência de luz houve menor germinação acumulada, 7% aos 14 DAS.

A frequência relativa de germinação confirma os resultados de IVG e germinação acumulada, indicando rápida germinação quando as sementes foram submetidas à superação da dormência. Verificou-se maior frequência relativa de germinação ao terceiro e quarto DAS, em todas as qualidades de luz, apresentando mais de 44 e 37% de sementes germinadas, nestas avaliações, respectivamente (Figura 3A). Nos tratamentos em que as sementes não foram submetidas à superação da dormência, ocorreu distribuição da frequência relativa de germinação ao longo do período de avaliação (Figura 3B). No entanto, observou-se um pico de germinação no terceiro e quarto DAS ao expor as sementes a alguma condição de luz. Quando as sementes foram submetidas à ausência de luz, verificou-se maior frequência relativa de germinação próximo ao 3<sup>o</sup> e 11<sup>o</sup> DAS, indicando que nesta condição, além de apresentar menor germinação, esta ocorre de forma lenta, estando relacionada ao mecanismo de dormência.

Esses resultados corroboram em parte com os encontrados por Roso et al. (2017), no qual os autores classificaram *E. plantagineum* como fotoblástica positiva preferencial, apresentando maior germinação quando as sementes foram expostas à luz. Neste trabalho, verificamos que a luz proporciona estímulo à germinação se não for realizada a superação da dormência, no entanto, ao superar a dormência a germinação ocorre independente de estímulo luminoso, indicando que a dormência desta espécie pode estar relacionada a uma combinação de fatores. Neste sentido, o ácido giberélico pode ter substituído o efeito da qualidade da luz na germinação, o qual pode não ser a causa principal da dormência. A superação da dormência com nitrato de potássio e ácido giberélico em conjunto proporciona maior germinação do que ambos isolados, indicando efeito sinérgico (ROSO et al., 2017). Assim, a luz vermelha influenciou positivamente na germinação quando não houve superação da dormência, mas em menor porcentagem quando comparado aos tratamentos com superação da dormência.

Figura 3 – Frequência relativa de germinação de sementes de *Echium plantagineum* submetidas à diferentes qualidades de luz com (A) ou sem (B) superação de dormência (imersão dos diásporos em soluções de nitrato de potássio (0,2 %) por 12 horas, seguida pela imersão em ácido giberélico (500 mg L<sup>-1</sup>) por 48 h).



Neste sentido, a germinação das sementes da maioria das espécies de plantas daninhas é restrita a proximidade da superfície do solo, apresentando variação entre espécies, devido à disponibilidade de reservas das sementes e principalmente pelo requerimento de luz para desencadear o processo de germinação (FERRARESI; YAMASHITA; CARVALHO, 2009; BARRERO et al., 2012). Dependendo da composição do solo, este pode desempenhar o papel de filtrar a luz em diferentes comprimentos de onda, dependendo da profundidade, promovendo três ambientes distintos para a germinação, podendo ter influência na dormência das sementes (BARRERO et al., 2012). Os primeiros milímetros de solo apresentam maior influência da luz na região do azul, podendo inibir ou diminuir a germinação, desaparecendo após os primeiros milímetros e as sementes encontram condições de germinação adequada com alta proporção de vermelho/vermelho-distante (BLISS e SMITH, 1985; BARRERO et al., 2012). Estes mesmos autores também afirmam que em maiores profundidades do solo, diminui a proporção de vermelho/vermelho-distante e a germinação pode ser inibida novamente em sementes fotossensíveis. Segundo Batlla e Benech-Arnold (2014) culturas agrícolas ou plantas de cobertura de solo também filtram a luz ao passar pelo dossel, incidindo no solo baixa proporção de luz vermelho/vermelho-distante, permitindo às sementes de plantas daninhas detectarem

a presença de vegetação, indicando à permanência da dormência das sementes e condições desfavoráveis à germinação.

Devido à sensibilidade das sementes de *E. plantagineum* à luz, quando não submetida à superação de dormência, com maior resposta de germinação sob incidência de luz vermelha, e menor germinação na ausência de luz, o uso de culturas de cobertura de solo associada à outras práticas, pode ser uma estratégia eficiente de manejo, a fim de diminuir a germinação dessa espécie. Além disso, a possibilidade de prever a germinação das sementes, localizadas próximas à superfície do solo, quando estiver sem plantas de cobertura ou solo revolvido, pode auxiliar no planejamento do controle desta espécie invasora ou no manejo de culturas agrícolas.

## CONCLUSÕES

O tratamento das sementes com nitrato de potássio (0,2 %) por 12 horas, seguida pela imersão em ácido giberélico ( $500 \text{ mg L}^{-1}$ ) por 48 h promove a superação da dormência, proporcionando a germinação, independente da incidência e qualidade da luz, sendo consideradas fotoblásticas neutras.

As sementes de *E. plantagineum* dormentes apresentam maior germinação sob incidência de luz vermelha.

Sem tratamento de superação de dormência com nitrato de potássio e ácido giberélico, as sementes de *E. plantagineum* podem ser consideradas fotoblásticas positivas preferenciais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R. L. Weed seed germination and the light environment: Implications for weed management. **Weed Biology and Management**, [S. l.], v.14, n. 1, p. 77-87, 2014.
- BARRERO, J. M. et al. Grain dormancy and lighth quality effects on germination in the model grass *Brachypodium distachyon*. **New Phytologist**, [S. l.], v. 193, p. 376-386, 2012.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BLISS, D.; SMITH, H. Penetration of light into soil and its role in the control of seed-germination. **Plant, Cell e Environment**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 475–483, 1985.
- BRANCALION, P. H. S. et al. Efeito da luz e de diferentes temperaturas na germinação de sementes de *Heliocarpus popayanensis* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 225-232, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, São Paulo, SP, 4 ed., 588 p., 2000.
- FERRARESI, D. A.; YAMASHITA, O. M.; CARVALHO, M. A. C. de. Superação da dormência e qualidade de luz na germinação de sementes de *Murdannia nudiflora* (L.) Brenans. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 4, p.126-132, 2009.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FLORENTINE, S. et al. Seed germination response of a noxious agricultural weed *Echium plantagineum* to temperature, light, pH, drought stress, salinity, heat and smoke. **Crop e Pasture Science**, [S. l.], v. 69, n. 1, p. 326-333, 2018.
- FURBECK, S. M.; BOURLAND, F. M.; WATSON, C. E. J. Relationship of seed and germination measurements with resistance to seed weathering cotton. **Seed Science and Technology**, v. 21, n. 3, p. 505-12, 1993.
- GOGGIN, D. E.; STEADMAN, K. J.; POWLES, S. B. Green and blue light photoreceptors are involved in maintenance of dormancy in imbibed annual ryegrass (*Lolium rigidum*) seeds. **New Phytologist**, [S. l.], v. 180, n. 1, p. 81-89, 2008.
- KONARZEWSKI, T. K.; MURRAY, B. R.; GODFREE, R. C. Rapid development of adaptive, climate-driven clinal variation in seed mass in the invasive annual forb *Echium plantagineum* L. **Plos one**, Norway, v. 7, n. 12, p. e49000, 2012.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.

LUZ, F. N. et al. Interferência de luz, temperatura, profundidade de sementeira e palha na germinação e emergência de *Murdannia nudiflora*. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 1, p. 26-33, 2014.

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

MOREIRA, H. J. da C.; BRAGANÇA, H. A. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes – Cultivos de verão**, 650 p., 2010.

ORZARI, I. et al. Germinação de espécies da família Convolvulaceae sob diferentes condições de luz, temperatura e profundidade de sementeira. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 53-61, 2013.

PEREIRA, M. C. et al. Superação de dormência e influência dos fatores ambientais na germinação de sementes de *Spermacoce latifolia*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 3, p. 427- 431, 2011.

PIGGIN, C. M. Factors affecting seed germination of *Echium plantagineum* L. and *Trifolium subterraneum* L. **Weed Research**, [S. l.], v. 16, p. 337-344, 1976.

ROSO, R. et al. Germination of *Echium plantagineum* L. seeds submitted to dormancy overcoming and variations in temperature, light and depth of sowing. **Journal of seed science**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 262-271, 2017.

SHARMA, G. P.; ESLER, K. J. Phenotypic plasticity among *Echium plantagineum* populations in different habitats of Western Cape, South Africa. **South African Journal of Botany**, [S. l.], v. 74, p. 746-749, 2008.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2012. 704 p.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento vegetal**. Tradução: MASTROBERTI, A. A. et al. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TOYOMASU, T. et al. Phytochrome regulates gibberellin biosynthesis during germination of photoblastic lettuce seeds. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 118, n. 1, p. 1517-1523, 1998.

WESTON, L. A.; WESTON, P. A.; McCULLY, M. Production of bioactive naphthoquinones by roots of paterson's curse (*Echium plantagineum*) – implications for invasion success? **Weed Science Research**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 677-686, 2012.

YAMASHITA, O. M. et al. Influência da temperatura e da luz na germinação de sementes de couve-cravinho (*Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 202-206, 2008.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C.; CAVENAGHI, A. L. Germinação de sementes de *Conyza canadenses* e *Conyza bonariensis* em função da qualidade de luz. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 737-743, 2011.

VIDAVER, W. **Light and seed germination**. In: KHAN, A. A. The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. New York: North-Holland Publishing Company, p. 181-192, 1980.

VIVIAN, R. et al. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência – breve revisão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 695-706, 2008.

#### 4. CAPÍTULO II - GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Echium plantagineum* L. SUBMETIDAS A ESTRESSE POR ALUMÍNIO E pH

##### RESUMO

Objetivou-se investigar o efeito de concentrações de alumínio e níveis de pH da solução na germinação de sementes de *Echium plantagineum*. Foram realizados três experimentos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. No primeiro experimento utilizou-se soluções de sulfato de alumínio nas concentrações de 0,0; 0,3; 0,6; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 e 7,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$  e no segundo soluções com diferentes pH, 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 e 10,0. No terceiro experimento realizou-se um fatorial (4 x 4) com soluções de sulfato de alumínio (0,0; 2,0; 4,0 e 6,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) e pH (4,0; 5,0; 6,0 e 7,0). Foram avaliados a germinação aos quatro e 14 DAS (dias após a semeadura), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da raiz primária, parte aérea e massa seca de plântulas. A presença de alumínio reduziu 27 e 40% a germinação aos quatro e 14 DAS, respectivamente, em concentrações superiores a 3,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ . Os três parâmetros de crescimento apresentaram redução linear com o aumento das concentrações de alumínio. No segundo experimento, as soluções com pH de 3,0 a 10,0 proporcionaram aumentos na germinação, comprimento de raiz e parte aérea, e pouca influência na massa seca de plântulas. No terceiro experimento, houve interação significativa entre concentrações de alumínio e níveis de pH do substrato. A presença de alumínio no substrato apresentou efeito tóxico à germinação das sementes, comprimentos de plântulas e massa seca. O pH da solução possui pouco efeito na germinação de sementes e no crescimento das plântulas de *E. plantagineum*. Mais de 50% das sementes germinam e apresentam formação de plântulas normais, mesmo com o efeito tóxico do alumínio independente do pH do substrato.

**Palavras-chave:** Boraginaceae. Flor-roxa. Planta daninha. Substrato. Fitotoxicidade.

##### GERMINATION OF *Echium plantagineum* L. SEEDS SUBMITTED TO STRESS BY ALUMINUM AND pH

##### ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effect of aluminum concentrations and pH levels of solution in germination of *Echium plantagineum* seeds. Three experiments in completely randomized design with four repetitions were carried out. In the first experiment, we used aluminum sulfate solutions in concentrations of 0.0; 0.3; 0.6; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0; 6.0 and 7.0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$  and in the second, solutions with different pH, 3.0; 4.0; 5.0; 6.0; 7.0; 8.0; 9.0 and 10.0. In the third experiment, we carried out a factorial (4x4) with aluminum sulfate solutions (0.0; 2.0; 4.0 and 6.0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) and pH (4.0; 5.0; 6.0 and 7.0). It was evaluated the germination at four and 14 days after seeding (DAS), germination speed index (GSI), primary root length, aerial part

and dry mass of seedlings. The presence of aluminum reduced germination by 27 and 40% at four and 14 DAS, respectively, in concentrations superior to  $3.0 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$ . The three growth parameters presented linear reduction with the increase of aluminum concentrations. In the second experiment, the solutions with pH of 3.0 and 10.0 provided increases in germination, length of root and aerial part, and little influence in the dry mass of seedlings. In the third experiment, there was significant interaction between the aluminum concentrations and pH levels of substrate. The presence of aluminum in the substrate presented toxic effect on germination of seeds, length of seedlings and dry mass. The pH of the solution has little effect in germination of seeds and in the growth of seedlings of *E. plantagineum*.

**Keywords:** Boraginaceae. Purple flower. Weed. Substrate. Phytotoxicity.

## INTRODUÇÃO

Dentre as plantas daninhas de importância econômica pode-se citar *Echium plantagineum* L., uma planta anual de estação fria da família Boraginaceae, conhecida vulgarmente como flor roxa ou soagem. É uma espécie de porte herbáceo, nativa do Mediterrâneo Ocidental, Portugal e Espanha, e norte da África, considerada uma planta daninha importante na Austrália, África do Sul, Canadá, Nova Zelândia e América do Sul (WESTON; WESTON; McCULLY, 2012; FLORENTINE et al., 2018). Está presente no Sul do Brasil, causando danos em culturas agrícolas e pastagens cultivadas. É considerada uma planta daninha agressiva, apresentando rápido crescimento, tolerante à seca, com alta capacidade de competição por água e nutrientes, adaptação às variações de temperatura e fotoperíodo, elevada produção de área foliar e sementes, dormência e vários fluxos de emergência durante o ano (PIGGIN, 1976; FORCELLA; WOOD; DILLON, 1986; SHARMA e ESLER, 2008; KONARZEWSKI; MURRAY; GODFREE, 2012). *E. plantagineum* também possui elevada plasticidade fenotípica, demonstrada pela variação das características morfológicas: altura de planta, tamanho e massa de sementes, desencadeadas em resposta à variações de precipitação e temperatura (SHARMA e ESLER, 2008; KONARZEWSKI; MURRAY; GODFREE, 2012).

Esta espécie possui inflorescência escorpioide, apresentando flores com ovário súpero, bicarpelar, gamocarpelar e tetralocular (formação de uma parede secundária no ovário), com um óvulo por lóculo e gineceu ginobásico, que na maturação dos frutos, estes se separam ficando unidos pela base do estilete (SOUZA e LORENZI, 2012). Este tipo de gineceu forma frutos denominados carcerulídeos (fruto seco

indeiscente e unisseminado), cuja semente permanece unida ao fruto, sendo a unidade de disseminação e propagação (MOREIRA e BRAGANÇA, 2010).

A germinação das sementes é uma sequência ordenada de atividades metabólicas divididas em fases que resultam na formação de uma plântula, as quais são diretamente influenciadas por condições ambientais (BEWLEY e BLACK, 1994; YAMASHITA e GUIMARÃES, 2011). Muitas plantas possuem reduzida porcentagem de germinação e emergência devido a dificuldades de embebição, dormência das sementes ou por interferência de fatores bióticos ou abióticos (VIVIAN et al., 2008; YAMASHITA; GUIMARÃES; CAVENAGHI, 2008; YAMASHITA e GUIMARÃES, 2011; LUZ et al., 2014). No entanto, sementes de muitas espécies vegetais, como de plantas daninhas, são tolerantes a condições ambientais adversas, permanecendo com atividade metabólica reduzida (dormentes), possuindo capacidade de germinar após estímulo ambiental favorável (RAJJOU e DEBEAUJON, 2008; MAHMOOD et al., 2016).

Dentre os fatores que influenciam o processo de estabelecimento e colonização de plantas daninhas em determinados ambientes, as características de solo, como a presença de alumínio e pH, desempenham papel predominante (MONQUERO et al., 2012). O alumínio é um dos principais constituintes minerais do solo, sendo dissolvido na solução do solo principalmente na forma de íons  $Al^{+3}$ , sob condições de pH ácido e baixo teor de matéria orgânica, sendo tóxico às plantas através da inibição do crescimento de raízes e acúmulo na parede celular (EZAKI et al., 2008; RODRIGUES et al., 2017). Quando o alumínio é absorvido pelas raízes das plantas em sua forma tóxica (íons  $Al^{+3}$ ), ocorre interferência na divisão celular dos ápices radiculares e, conseqüentemente, inibição do crescimento de raízes primárias e secundárias (RYAN et al., 2011).

A germinação das sementes e a infestação de novos ambientes também podem ser afetados pelo pH do solo, em que a resposta varia entre as espécies, sendo que muitas toleram um intervalo de pH entre 5,0 e 10,0, no entanto estudos mostram que algumas plantas daninhas podem germinar fora dessa faixa (JAVAID e TANVEER, 2014). A tolerância a uma ampla faixa de pH é comum em espécies de plantas daninhas, permitindo invadir diversos ambientes (MOBLI; GHANBARI; RASTGOO, 2018). Embora em solos com pH baixo e alta concentração de alumínio ocorra germinação das sementes, o alumínio pode induzir a formação de compostos pécticos, resultando na perda de elasticidade das células e paralisação da divisão

celular, evoluindo para a morte da plântula (YAMASHITA e GUIMARÃES, 2011). Dessa forma, a habilidade de adaptação a ambientes com variações de pH e alumínio muda de acordo com a espécie, modificando também a dinâmica populacional e, conseqüentemente, a capacidade de competição (MONQUERO et al., 2012).

Informações sobre o efeito do alumínio e pH na germinação de plantas daninhas são limitadas na literatura. No entanto, é importante considerar ecológica e agronomicamente o efeito destes sobre a germinação e crescimento das plantas, uma vez que a maioria dos solos brasileiros possui acidez média a alta (MONQUERO et al., 2012). Diante disso, o entendimento da germinação das sementes de espécies de plantas daninhas e a relação com fatores ambientais são importantes para conhecer as respostas ecológicas das espécies, assim como a capacidade de adaptação a novos ambientes (VIVIAN et al., 2008; FLORENTINE et al., 2018), possibilitando o estabelecimento de estratégias sistemáticas de manejo eficientes, visando a redução do banco de sementes no solo em áreas cultivadas. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo investigar o efeito de concentrações de alumínio e níveis de pH da solução na germinação de sementes de *E. plantagineum*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS.

Os frutos de *E. plantagineum* foram coletados manualmente de várias plantas e homogeneizados formando um lote, em novembro de 2016, em lavoura com histórico de infestação por essa planta daninha ( $\pm 20$  plantas  $m^{-2}$ ), localizada no município de Restinga Seca, RS (29° 51' 29" latitude Sul e 53° 31' 41" longitude Oeste e altitude 72 m). A área da coleta caracteriza-se pelo cultivo de soja (*Glycine max*) no verão e azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno.

Coletou-se apenas os frutos de coloração escura que se desprendiam facilmente da planta mãe, possuindo aparentemente maturidade fisiológica. Os mesmos passaram por um processo de limpeza manual, secos à sombra por cinco dias, e armazenados por seis (experimentos separados de alumínio e pH) e doze (experimento de interação entre alumínio e pH) meses em sacos de papel Kraft à temperatura ambiente em local seco (laboratório) até a realização dos experimentos.

Os experimentos foram conduzidos em câmara de germinação do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.) na temperatura de 20 °C e fotoperíodo de 24 horas de luz artificial no interior da câmara ( $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de iluminância). Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições de 50 diásporos (carcerulídeo: fruto concrecido com a semente), totalizando 200 por tratamento.

Realizou-se três experimentos para avaliar o efeito do alumínio e do pH na germinação das sementes. Os testes foram conduzidos em caixas de acrílico transparentes do tipo gerbox (11,0 x 11,0 x 3,5 cm), sob três folhas de papel germiteste, umedecidas em quantidades 2,5 vezes a massa do papel seco (BRASIL, 2009). No primeiro, o papel germiteste foi umedecido com soluções aquosas de sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ) (P.M.= 666), testando-se as concentrações 0,0; 0,3; 0,6; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 e 7,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ , adaptado de Gallon (2015). No segundo experimento, o papel germiteste foi umedecido com água destilada ajustada com NaOH ou HCl, ambos 0,1N, a diferentes níveis de pH: 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 e 10,0.

A partir desses experimentos, nos quais avaliou-se através de um pré-teste o efeito separado do alumínio e pH, identificou-se as faixas mais importantes para a espécie. Diante disso, realizou-se o terceiro experimento estudando a interação de ambos, utilizando o mesmo lote de sementes dos experimentos anteriores. Este, foi organizado de forma fatorial 4 x 4, sendo o primeiro fator concentrações de sulfato de alumínio (0,0; 2,0; 4,0 e 6,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) e o segundo níveis de pH da solução (4,0; 5,0; 6,0 e 7,0), conforme procedimento realizado nos experimentos anteriores.

As variáveis analisadas foram germinação das sementes aos quatro e 14 dias após a semeadura (DAS) e índice de velocidade de germinação (IVG) durante 14 dias, considerando semente germinada quando ocorresse a protusão da raiz primária ( $\geq 2$  mm) conforme Bewley e Black (1994). A porcentagem de germinação foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Labouriau e Valadares (1976) e o IVG conforme Maguire (1962). Também foi avaliado o comprimento da raiz primária, parte aérea e massa seca das plântulas aos 14 DAS de acordo com Nakagawa (1999).

Os dados foram submetidos aos testes de pressupostos, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias, para as variáveis em porcentagem, os mesmos foram transformados para arco-seno  $\sqrt{\%/100}$ . Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) através do programa estatístico SISVAR

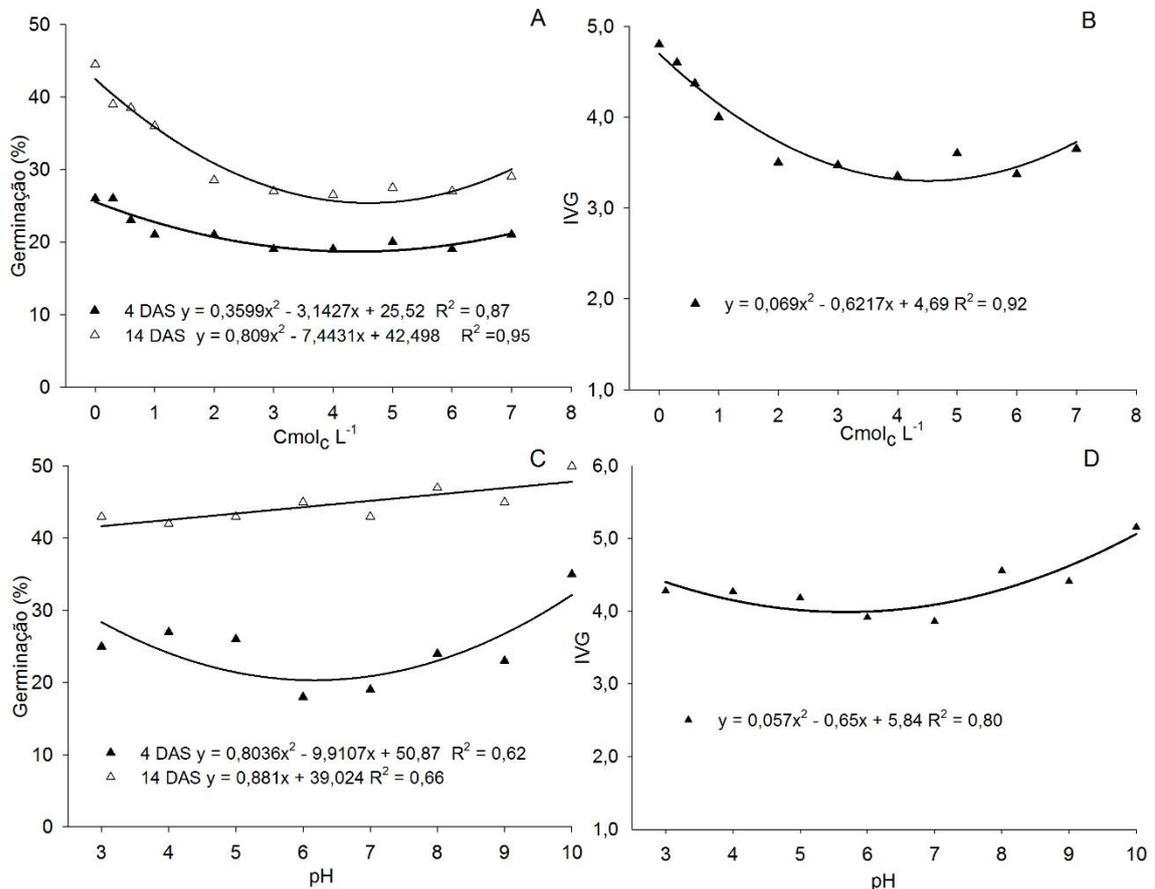
(FERREIRA, 2011). Para as variáveis avaliadas no primeiro e segundo experimento realizou-se análise de regressão polinomial. No terceiro experimento, o desdobramento da interação entre concentrações de alumínio e níveis de pH, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott em 0,05 de probabilidade de erro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro experimento, os resultados indicam que a germinação das sementes de *E. plantagineum* foi influenciada pelas concentrações de alumínio nas soluções. Assim, a medida que aumentou as concentrações de alumínio, a germinação diminuiu, aos 4 e 14 DAS, até a concentração de 4,3 e 4,6  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ , respectivamente, ocorrendo ajuste de um polinômio de segundo grau para as variáveis germinação aos 4 e 14 DAS e IVG (Figuras 1A e 1B). Observou-se que a presença de alumínio no substrato interferiu tanto na germinação aos quatro quanto aos 14 DAS, havendo redução de 27 e 40%, respectivamente, na concentração de 3,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$  de alumínio, em comparação com a testemunha sem a presença de alumínio, cujos valores de germinação encontrados foram 19 e 27% aos quatro e 14 DAS, respectivamente (Figura 1A). Assim como a germinação, o IVG também foi influenciado pelas concentrações de alumínio, ocorrendo menor IVG (3,4) na concentração de 4,5  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ , com redução de 29% em comparação a testemunha (Figura 1B), aumentando nas maiores concentrações. Dessa forma, além do alumínio reduzir a germinação também reduziu a velocidade de germinação, demonstrando efeito tóxico para as sementes de *E. plantagineum*.

No segundo experimento, diferente do alumínio, o pH da solução teve efeito linear na germinação das sementes aos 14 DAS germinando em pH de 3,0 a 10,0, indicando não ser um fator limitante para essa planta daninha. A germinação aos 14 DAS foi superior a 40% na faixa de pH estudada, ocorrendo aumento linear dentro dessa faixa (Figura 1C). Já, a germinação aos quatro DAS, resultou em maior sensibilidade a pH próximos a neutralidade (pH 6,0 e 7,0), apresentando tendência quadrática, sendo a menor germinação (18%) observada em pH 6,0. Em contrapartida, os valores extremos de pH apresentaram maior germinação aos quatro DAS, com valores próximos a 27 e 35%, para os menores e maiores pH estudados, respectivamente (Figura 1C).

Figura 1 – Germinação aos quatro e 14 DAS (dias após a semeadura) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Echium plantagineum* expostas a concentrações (cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) de sulfato de alumínio (A e B) e níveis de pH (C e D).



Os resultados de IVG obtidos durante 14 DAS corroboram com a germinação observada aos quatro DAS, nos quais houve menor IVG em pH 6,0. Já em níveis de pH básico (7,0 a 10,0) verificou-se maiores IVG, demonstrando a preferência de germinação em pH básico, no qual além de ocorrer maior germinação, esta ocorre de forma mais rápida (Figura 1D). A capacidade de germinar ao longo de uma ampla faixa de pH suporta a premissa de que *E. plantagineum* é adaptada a diversas condições e tipos de solo, possuindo capacidade de invadir diversos ambientes e apresentar ampla distribuição geográfica (FLORENTINE et al., 2018). Resultados semelhantes foram encontrados por Zhao et al. (2017) ao trabalhar com diferentes pH da solução nas sementes de *Alopecurus aequalis*, obtendo germinação de 27% (menor) em pH 4,0 (ácido) e acima de 95% na faixa de pH de 7,0 a 10,0 (alcalino),

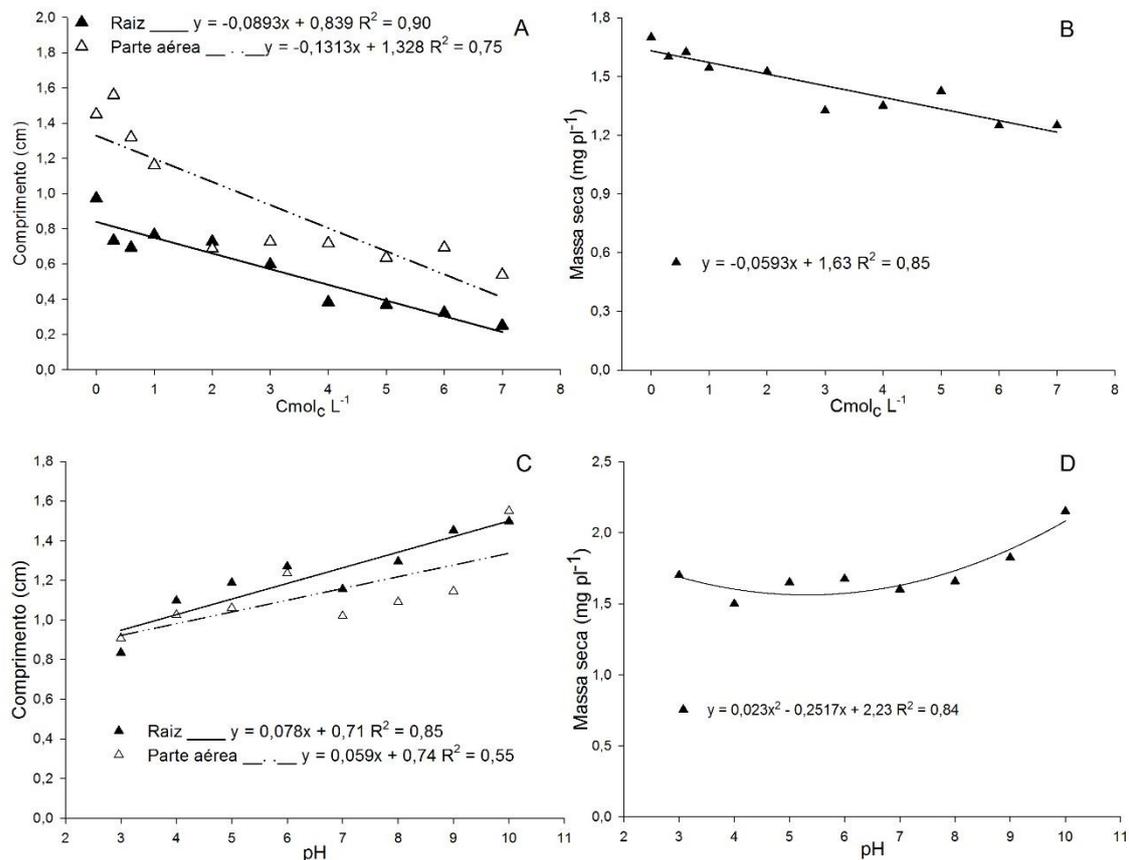
sugerindo a preferência dessa espécie a pH alcalino, mas possuindo capacidade de adaptação a solos ácidos.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Florentine et al. (2018), em trabalho realizado com sementes de *E. plantagineum* na Austrália, no qual os autores não encontraram efeito significativo do pH, na faixa de 4,0 a 10,0, do substrato na germinação, obtendo germinação superior à 80%. Essas características são comuns em muitas espécies de plantas daninhas, tais como: *Emex spinosa* e *E. australis* (JAVAID e TANVEER, 2014), *Galenia pubescens* (MAHMOOD et al., 2016), *Sophora alopecuroides* (NOSRATTI et al., 2017), *Parthenium hysterophorus* (BAJWA; CHAUHAN; ADKINS, 2017) e *Alyssum linifolium* (MOBLI; GHANBARI; RASTGOO, 2018).

A figura 2 mostra o efeito do alumínio no comprimento da raiz primária, parte aérea (Figura 2A) e massa seca de plântulas (Figura 2B), observando-se decréscimos lineares nestes parâmetros. O crescimento radicular foi o mais prejudicado, com redução de 74% no comprimento das raízes na concentração de 7,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$  em comparação à testemunha. Resultados semelhantes ocorreram para comprimento da parte aérea e massa seca de plântulas, com redução de 63 e 26%, respectivamente, na maior concentração (7,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) em relação à testemunha.

O ajuste de modelo linear para comprimento de raiz e parte aérea (Figura 2C), e quadrático para massa seca de plântulas (Figura 2D) foi significativo em função dos níveis de pH. O pH ácido (3,0) da solução foi prejudicial ao comprimento da raiz primária e parte aérea, já em pH básico (10,0) observou-se aumento de 44 e 41% nestes parâmetros, respectivamente, em comparação ao pH 3,0. Resultados semelhantes ocorreram para massa seca de plântula, porém com incremento de apenas 28% do pH 5,4 ao 10,0. Todavia, mesmo ocorrendo influência do pH nos comprimentos de raiz e parte aérea e massa seca de plântulas, os mesmos apresentaram valores superiores a 0,8 cm e 1,5  $\text{mg pl}^{-1}$ , respectivamente, não sendo observado mortalidade de plântulas. Dessa forma, em todos os níveis de pH estudados ocorreu a formação de plântulas normais, confirmando a capacidade de tolerância dessa espécie à variação de pH. Isto pode indicar que o pH do solo não é um fator limitante à germinação e estabelecimento de *E. plantagineum*, assim como o ajuste do pH do solo, de forma isolada, utilizando calagem, pode não ser uma estratégia eficiente de supressão ou de estímulo dessa planta daninha (FLORENTINE et al., 2018).

Figura 2 – Comprimento de raiz, parte aérea (cm) e massa seca de plântulas (mg planta<sup>-1</sup>), aos 14 dias após a semeadura, oriundas de sementes de *Echium plantagineum* expostas a concentrações (cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) de sulfato de alumínio (A e B) e níveis de pH (C e D).



Resultados semelhantes foram verificados no terceiro experimento (Tabelas 1 e 2), no qual houve interação significativa entre pH e concentrações de alumínio no substrato para todas as variáveis ( $p < 0,05$ ). Observou-se de maneira geral (Tabela 1), maior germinação aos quatro DAS na ausência de alumínio e nos níveis de pH 5,0 e 6,0, com 46 e 49%, respectivamente e na menor concentração de alumínio (2,0 cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) em pH 5,0 com 50% de germinação. Aos 14 DAS houve maior germinação, próximo a 70%, na ausência de alumínio independente do pH e na menor concentração de alumínio (2,0 cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) nos níveis de pH 4,0; 5,0 e 6,0.

Tabela 1 – Germinação aos quatro e 14 DAS (dias após a semeadura), índice de velocidade de germinação (IVG) e massa seca de plântulas ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de sementes de *Echium plantagineum* expostas a concentrações de sulfato de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) e níveis de pH.

pH	Concentrações de sulfato de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )							
	Germinação 4 DAS (%)				Germinação 14 DAS (%)			
	0,0	2,0	4,0	6,0	0,0	2,0	4,0	6,0
4,0	37 bC <sup>1</sup>	50 aA	43 aB	47 aA	70 <sup>nsns</sup>	71 a	66 a	68 a
5,0	46 aA	46 bA	34 bB	36 bB	69 A	68 aA	59 bB	60 bB
6,0	49 aA	43 bB	35 bC	33 bC	70 A	70 aA	60 bB	61 bB
7,0	37 bA	31 cB	26 cC	25 cC	71 A	59 bB	62 bB	59 bB
CV (%) <sup>2</sup>	4,83				3,78			
pH	IVG				Massa seca ( $\text{mg pl}^{-1}$ )			
4,0	7,4 bB	8,4 aA	7,7 aB	8,4 aA	1,6 <sup>nsA</sup>	1,6 bA	1,7 <sup>nsA</sup>	1,4 <sup>nsB</sup>
5,0	8,0 aA	8,2 aA	6,9 bB	6,7 bB	1,7 A	1,8 aA	1,4 B	1,2 C
6,0	8,5 aA	7,8 aB	6,8 bC	6,6 bC	1,8 A	1,5 bB	1,6 B	1,3 C
7,0	8,0 aA	6,4 bB	6,5 bB	6,4 bB	1,8 A	1,5 bB	1,5 B	1,3 C
CV (%)	6,41				9,95			

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p\text{-valor}<0,05$ ); <sup>2</sup>coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo.

Já as menores porcentagens de germinação (próximas a 25%) aos quatro DAS, foram obtidas no maior pH estudado (7,0) e nas concentrações de alumínio 4,0 e 6,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ . Aos 14 DAS houve menor germinação, aproximadamente 60%, nas concentrações de alumínio 4,0 e 6,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$  em todos os níveis de pH estudados.

Dessa forma, com o aumento das concentrações de alumínio e níveis de pH, houve decréscimo de germinação. Do mesmo modo ocorreu para o IVG, em que na menor concentração e ausência de alumínio e nos menores níveis de pH observou-se maior IVG, próximo a 8,0, indicando germinação mais rápida. Já em maiores concentrações de alumínio e maiores níveis de pH o IVG foi menor, próximo a 6,5, podendo associar a germinação lenta ao efeito tóxico do alumínio (Tabela 1).

Para a massa seca de plântulas (Tabela 1) observou-se maiores valores, em torno de 1,7  $\text{mg pl}^{-1}$ , na ausência de alumínio independente do pH e na concentração de 2,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$  de alumínio e pH 4,0 e 5,0 com 1,6 e 1,8  $\text{mg pl}^{-1}$ , respectivamente.

Mesmo ocorrendo germinação em todos os níveis de pH e concentrações de alumínio, de maneira geral, houve menor crescimento da parte aérea e raiz nas maiores concentrações de alumínio independente do pH, além de se observar

visualmente (dados não apresentados) maior mortalidade de plântulas durante o teste (Tabela 2).

Tabela 2 – Comprimento de parte aérea (cm) e comprimento de raiz (cm) aos 14 DAS (dias após a semeadura), oriundas de sementes de *Echium plantagineum* expostas a concentrações de sulfato de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) e níveis de pH.

pH	Concentrações de sulfato de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )							
	Comprimento da parte aérea (cm)				Comprimento da raiz (cm)			
	0,0	2,0	4,0	6,0	0,0	2,0	4,0	6,0
4,0	1,27 bA <sup>1</sup>	1,06 aB	0,68 cC	0,50 cD	1,49 aA	0,75 <sup>ns</sup> B	0,64 <sup>ns</sup> B	0,30 <sup>ns</sup> C
5,0	1,46 aA	0,88 bC	1,05 aB	0,76 bC	0,95 bA	0,63 B	0,56 B	0,49 B
6,0	0,92 cA	1,00 aA	0,93 bA	0,75 bB	1,35 aA	0,74 B	0,59 B	0,45 B
7,0	1,39 aA	1,02 aB	0,89 bB	0,93 aB	1,09 bA	0,51 B	0,53 B	0,44 B
CV (%) <sup>2</sup>	9,99				21,12			

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p$ -valor $<0,05$ ); <sup>2</sup>coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo.

Observou-se maiores comprimentos de parte aérea na ausência de alumínio nos níveis de pH 5,0 e 7,0 com 1,46 e 1,39 cm, respectivamente, e na concentração de 2,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$  de alumínio e pH 4,0; 6,0 e 7,0, com aproximadamente 1,0 cm. Resultado semelhante ocorreu para o comprimento de raiz, no qual se observou os maiores valores na ausência de alumínio no substrato, próximo a 1,0 cm, independente do pH, reduzindo o comprimento de raiz com a presença de alumínio.

Dessa forma, o alumínio apresentou-se tóxico à germinação e crescimento inicial de *E. plantagineum*, pois em concentrações superiores a 2,0  $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ , o crescimento das estruturas primárias foi comprometido, apresentando necrose nas extremidades das raízes que evoluíam, em alguns casos, para a morte da plântula. Isso pode ser devido alterações na divisão e/ou impedimento do alongamento de células do eixo embrionário, comprometendo a protusão da raiz primária, ocorrendo anormalidades morfológicas e de desenvolvimento (EZAKI et al., 2008; RODRIGUES et al., 2017). Além disso, o efeito tóxico do alumínio resulta na perda da elasticidade celular e estresse oxidativo, através do acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO), como o ânion superóxido ( $\text{O}_2^-$ ) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (ZHANG et al., 2010). No entanto, mesmo apresentando efeito tóxico à germinação e crescimento inicial, aproximadamente 50% das sementes apresentaram germinação e formação

de plântula em concentrações superiores a  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$  de alumínio independentemente do nível de pH.

Na literatura, encontra-se relatos de muitas espécies de plantas daninhas que apresentam tolerância a variações na concentração de alumínio e pH (JAVAID e TANVEER, 2014; MAHMOOD et al., 2016; RODRIGUES et al., 2017; FLORENTINE et al., 2018; MOBILI; GHANBARI; RASTGOO, 2018). Resultados semelhantes foram observados nesse estudo, no qual *E. plantagineum* pode apresentar plasticidade adaptativa a variações de alumínio e pH. No entanto, a utilização de associação de estratégias de manejo como calagem, plantio direto, utilização de cobertura vegetal e controle químico podem auxiliar no controle ou minimizar a infestação de *E. plantagineum*, contribuindo para diminuir o banco de sementes do solo.

## CONCLUSÕES

A presença de alumínio no substrato apresenta efeito tóxico à germinação das sementes, comprimentos da raiz primária e parte aérea, e massa seca da plântula de *E. plantagineum*.

A germinação das sementes de *E. plantagineum* é pouco afetada pelo pH do substrato, não sendo um fator limitante à germinação.

Mesmo com efeito tóxico do alumínio na germinação de sementes de *E. plantagineum* e crescimento inicial de plântulas, mais de 50% das sementes germinam e apresentam formação de plântula normal, independente do pH do substrato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAJWA, A. A.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. W. Germination ecology of two Australian biotypes of ragweed parthenium (*Parthenium hysterophorus*) relates to their invasiveness. **Weed Science**, [S. l.], v. 66, n. 1, p. 62-70, 2017.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- EZAKI, B. et al. Wild plants, *Andropogon virginicus* L. and *Miscanthus sinensis* anders, are tolerant to multiple stresses including aluminum, heavy metals and oxidative stresses. **Plant Cell Reports**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 951–961, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FLORENTINE, S. et al. Seed germination response of a noxious agricultural weed *Echium plantagineum* to temperature, light, pH, drought stress, salinity, heat and smoke. **Crop and Pasture Science**, [S. l.], v. 69, n. 1, p. 326-333, 2018.
- FORCELLA, F.; WOOD, J. T.; DILLON, S. P. Characteristic's distinguishing invasive weeds within *Echium* (Bugloss). **Weed Research**, [S. l.], v. 26, p. 351-364, 1986.
- GALLON, M. **Efeito de fatores ambientais e tolerância a herbicidas em três espécies de plantas daninhas da família Rubiaceae**. 2015. 182 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade tecnológica do Paraná, Pato Branco, 2015.
- JAVOID, M. M.; TANVEER, A. Germination ecology of *Emex spinosa* and *Emex australis*, invasive weeds of winter crops. **Weed Research**, [S. l.], v. 54, n.1, p. 565-575, 2014.
- KONARZEWSKI, T. K.; MURRAY, B. R.; GODFREE, R. C. Rapid development of adaptive, climate-driven clinal variation in seed mass in the invasive annual forb *Echium plantagineum* L. **Plos one**, [S. l.], v. 7, n. 12, p. e49000, 2012.
- LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.
- LUZ, F. N. et al. Interferência de luz, temperatura, profundidade de semeadura e palha na germinação e emergência de *Murdannia nudiflora*. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 1, p. 26-33, 2014.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MAHMOOD, A. H. et al. Influence of various environmental factors on seed germination and seedling emergence of a noxious environmental weed: green galenia (*Galenia pubescens*). **Weed Science**, [S. l.], v. 64, n. 3, p. 486-494, 2016.

MOBLI, A.; GHANBARI, A.; RASTGOO, M. Determination of cardinal temperatures of flax-leaf alyssum (*Alyssum linifolium*) in response to salinity, pH, and drought stress. **Weed Science**, [S. l.], v. 66, n. 4, p. 470-476, 2018.

MONQUERO, P. A. et al. Profundidade de semeadura, pH, textura e manejo da cobertura do solo na emergência de plântulas de *Rottboellia exaltata*. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2799-2812, 2012.

MOREIRA, H. J. da C.; BRAGANÇA, H. A. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes – Cultivos de verão**, 650 p., 2010.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C. et al. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. 1999.

NOSRATTI, I. et al. Environmental factors affecting seed germination and seedling emergence of foxtail sophora (*Sophora alopecuroides*). **Weed Science**, [S. l.], v. 66, n. 1, p. 71-77, 2017.

PIGGIN, C. M. Factors affecting seed germination of *Echium plantagineum* L. and *Trifolium subterraneum* L. **Weed Research**, [S. l.], v. 16, p. 337-344, 1976.

RAJJOU, L.; DEBEAUJON, I. Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. **Comptes Rendus Biologies**, [S. l.], v. 331, n.1, p. 796-805, 2008.

RODRIGUES, A. A. et al. Aluminum influence on *Hancornia speciosa* seedling emergence, nutrient accumulation, growth and root anatomy. **Flora**, [S. l.], v. 236–237, n. 1, p. 9-14, 2017.

ROSO, R. et al. Germination of *Echium plantagineum* L. seeds submitted to dormancy overcoming and variations in temperature, light and depth of sowing. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 262-271, 2017.

RYAN, P. R. et al. The identification of aluminum-resistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 62, n. 1, p. 9–20, 2011.

SHARMA, G. P.; ESLER, K. J. Phenotypic plasticity among *Echium plantagineum* populations in different habitats of Western Cape, South Africa. **South African Journal of Botany**, [S. l.], v. 74, p. 746-749, 2008.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2012. 704 p.

VIVIAN, R. et al. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência – breve revisão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 695-706, 2008.

WESTON, L. A.; WESTON, P. A.; McCULLY, M. Production of bioactive naphthoquinones by roots of paterson's curse (*Echium plantagineum*) – implications for invasion success? **Weed Science Research**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 677-686, 2012.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C.; CAVENAGHI, A. L. Influência da temperatura e da luz na germinação de sementes de couve-cravinho (*Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 202-206, 2008.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Germinação de sementes de *Conyza canadenses* e *C. bonariensis* em função da presença de alumínio no substrato. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 599-601, 2011.

ZHANG, H. et al. Hydrogen sulfide alleviates aluminum toxicity in germinating wheat seedlings. **Journal of Integrative Plant Biology**, [S. l.], v. 52, n. 6, p. 556-567, 2010.

ZHAO, N. et al. Effect of environmental factors on germination and emergence of shortawn foxtail (*Alopecurus aequalis*). **Weed Science**, [S. l.], v. 66, n. 1, p. 47-56, 2017.

## 5. CAPÍTULO III - FLUXO DE EMERGÊNCIA E BANCO DE SEMENTES NO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJOS E ARMAZENAMENTO DOS FRUTOS DE *Echium plantagineum* L.

### RESUMO

Objetivou-se quantificar o banco de sementes e o fluxo de emergência de *Echium plantagineum* em sistemas de manejo, e monitorar a germinação de sementes armazenadas em diferentes ambientes. Foram realizados dois experimentos, no primeiro o fluxo de emergência e o banco de sementes foram avaliados em quatro sistemas de manejos: [1] pastagem de azevém sem controle de *E. plantagineum* seguido do cultivo de soja no sistema de plantio convencional; [2] azevém com controle de *E. plantagineum* e soja no sistema de plantio convencional; [3] azevém sem controle de *E. plantagineum* seguido do cultivo de soja no sistema de plantio direto; [4] azevém com controle de *E. plantagineum* e soja no sistema de plantio direto. No segundo, monitorou-se a germinação e a viabilidade das sementes armazenadas durante 12 meses, em três ambientes: laboratório (condições não controladas), câmara fria ( $\pm 10$  °C) e no solo (condições ambientais), com e sem a superação de dormência. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, sendo avaliado no primeiro experimento a emergência mensal de plantas e o número de sementes viáveis no solo a cada seis meses, de junho de 2017 a junho de 2019 e no segundo a germinação (4 e 14 dias após a semeadura) e viabilidade mensal durante 12 meses de armazenamento das sementes de *E. plantagineum*. Os resultados indicam maior ocorrência de fluxos de emergência nos meses de janeiro a abril, sendo maior no sistema de plantio direto sem controle. O sistema de plantio convencional distribuiu as sementes de forma vertical no perfil do solo, alimentando o banco de sementes. O sistema de plantio direto com controle de *E. plantagineum* proporcionou maior redução do banco de sementes no solo. Observou-se redução da germinação e aumento das sementes dormentes de forma quadrática, a partir do quarto mês de armazenamento no solo, independente da superação de dormência.

**Palavras-chave:** Boraginaceae. Controle. Flor-roxa. Herbicida. Planta daninha.

### EMERGENCY FLOW AND SEED BANK IN SOIL IN MANAGEMENT SYSTEMS AND STORAGE OF *Echium plantagineum* L. FRUITS

### ABSTRACT

The objective was to quantify the seed bank and emergence flow of *Echium plantagineum* in management systems, and to monitor the germination of seeds stored in different environments. Two experiments were performed, in the first one the emergency flow and the seed bank were evaluated in four cultivation systems: [1] ryegrass pasture without control of *E. plantagineum* followed by soybean cultivation in conventional management systems; [2] ryegrass with control of *E. plantagineum* and

soybean cultivation in conventional planting system; [3] ryegrass without control of *E. plantagineum* followed by soybean in no-till system; [4] ryegrass with control of *E. plantagineum* and soybean in no-till system. In the second, it was monitored germination and viability of seeds stored for 12 months in three environments: laboratory (uncontrolled conditions), cold room ( $\pm 10$  °C) and soil (environmental conditions), with and without overcoming dormancy. A completely randomized design was used, the first experiment evaluated the monthly emergence of plants and the number of viable seeds in the soil every six months, from June 2017 to June 2019 and in the second germination (4 and 14 days after sowing) and monthly viability during 12 months of storage of *E. plantagineum* seeds. The results indicate a higher occurrence of emergency flows from January to April, being larger in the no-till system without control. The conventional planting system distributed the seeds vertically in the soil profile, feeding the seed bank. The no-tillage system with control of *E. plantagineum* provided greater reduction of seed bank in the soil. There was a reduction in germination and increase of dormant seeds in a quadratic manner, from the fourth month of soil storage, regardless of overcoming dormancy. Therefore, the no-tillage system with *E. plantagineum* control may be the most efficient way to manage and reduce seed bank in the soil.

**Keywords:** Boraginaceae. Control. Purple flower. Herbicide. Weed.

## INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas podem conter milhares de sementes de plantas daninhas por metro quadrado, e entender os fatores envolvidos na dinâmica do banco de semente pode ajudar a desenvolver práticas integradas de manejo (KUMARI; PRADHAN; CHAUHAN, 2018). O banco de sementes do solo apresenta comportamento dinâmico, caracterizando-se como uma reserva de sementes viáveis de plantas daninhas presentes na superfície e dispersas no perfil do solo (SINGH; BHULLAR; CHAUHAN, 2015). Neste sentido, consiste em novas sementes de plantas daninhas dispersas recentemente e sementes mais velhas, dormentes, podendo permanecer viáveis no solo por vários anos permitindo a perpetuação da espécie (MENALLED, 2008; VASCONCELOS; SILVA; LIMA, 2012; PAZUCH et al., 2015; KUMARI; PRADHAN; CHAUHAN, 2018). Além disso, tem a capacidade de retardar a mudança genética de uma população exposta a intensas pressões de seleção, garantindo variabilidade genética nos fluxos de emergência (GULDEN e SHIRTIFFE, 2009).

As sementes de plantas daninhas dispersam-se horizontal e verticalmente no perfil do solo (HOSSAIN e BEGUM, 2015). A distribuição horizontal de sementes geralmente segue a direção de linhas de cultivo ou reboleiras, já a distribuição vertical

é influenciada pelo tipo de cultivo ou preparo de solo (MENALLED, 2008). Neste sentido, técnicas de preparo do solo, que resultam no enterrio das sementes, proporcionando distribuição vertical no perfil do solo, podem causar a morte ou a alimentação do banco de sementes, dependendo da espécie (JAKELAITIS; SOARES; CARDOSO, 2014). Segundo Kumari, Pradhan e Chauhan (2018) o banco de semente do solo diminui rapidamente quando nenhuma nova semente é dispersa no solo, no entanto, falhas de controle de plantas daninhas podem repercutir em rápido aumento do banco de semente.

No sistema de semeadura direta, sem revolvimento do solo, as sementes encontram-se próximas à superfície, estando expostas a fatores externos com maior intensidade, como variação de temperatura e umidade (IKEDA et al., 2008; SINGH; BHULLAR; CHAUHAN, 2015B), e mais expostas a predadores e patógenos (MENALLED, 2008). Assim, a predação de sementes é tipicamente maior quando as sementes permanecem na superfície do solo e há cobertura de resíduos suficientes para proliferação de predadores os quais podem reduzir a emergência de plantas daninhas (WHITE et al., 2007). Além disso, os resíduos vegetais podem modificar as condições para a germinação das sementes e emergência das plântulas, devido ao efeito físico da cobertura e liberação de substâncias alelopáticas (JAKELAITIS; SOARES; CARDOSO, 2014).

As sementes podem permanecer dormentes no banco de sementes do solo, germinando apenas quando a dormência for superada por algum fator, e as condições ambientais sejam favoráveis (VIVIAN et al., 2008). A dormência pode ser considerada um mecanismo de dispersão dos fluxos de germinação ao longo do tempo, podendo criar problemas futuros de infestações de plantas daninhas (MENALLED, 2008; PAZUCH et al., 2015). Diante disso, a longevidade das sementes no solo depende da interação de muitos fatores, incluindo a dormência intrínseca das sementes, condições ambientais e processos biológicos (MENALLED, 2008; SINGH; BHULLAR; CHAUHAN, 2015B). O banco de sementes do solo pode garantir a sobrevivência durante condições ambientais adversas e a métodos de controle altamente eficazes, permitindo distribuir a germinação por um longo período, muitas vezes por anos (GULDEN e SHIRTIFFE, 2009). Assim, o sistema de semeadura ou revolvimento do solo pode alterar a dinâmica populacional e o banco de sementes do solo, estando diretamente relacionado com a viabilidade das sementes e a persistência de espécies em um sistema agrícola (SINGH; BHULLAR; CHAUHAN, 2015A).

*Echium plantagineum* L. (Boraginaceae), popularmente conhecida como flor-roxa ou soagem, é uma espécie herbácea, anual ou bianual, infestante de culturas de inverno, cujo fruto do tipo carcerulídeo (fruto seco indeiscente) concrece com a única semente após a maturação, sendo a unidade de disseminação e propagação (SAINT-HILAIRE, 2009; MOREIRA e BRAGANÇA, 2010). As plantas desta espécie quando em alta infestação formam densas monoculturas, capazes de produzir até 30.000 sementes por m<sup>2</sup>, sendo a média de produção 6000 sementes por m<sup>2</sup>, que podem germinar a qualquer momento do ano, mas a maior taxa de germinação ocorre no outono (GRIGULIS et al., 2001; BROWN e BETTINK, 2011). É considerada de difícil controle, apresentando rápido crescimento e biótipos com resistência a herbicidas (FLORENTINE et al., 2018).

O conhecimento da dinâmica e aspectos relacionados à biologia das plantas daninhas podem auxiliar no desenvolvimento de estratégias de manejo, visando redução do banco de sementes no solo (ANDREASEN; JENSEN; JENSEN, 2018). Diante disso, este trabalho teve como objetivo quantificar o banco de sementes no solo e o fluxo de emergência de *E. plantagineum* em diferentes sistemas de manejo, além de monitorar a germinação e viabilidade de sementes armazenadas em diferentes ambientes.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **Fluxo de emergência e viabilidade do banco de sementes no solo**

O experimento foi desenvolvido em áreas caracterizadas pelo cultivo de soja no verão e pastagem de azevém no inverno, localizada no município de Restinga Seca, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (29° 51' 29" latitude Sul e 53° 31' 41" longitude Oeste e altitude 72 m). O solo das áreas é de textura franco-arenosa com 28% de argila e relevo suave ondulado e apresentava alta infestação inicial de *E. plantagineum* (aproximadamente 20 plantas m<sup>-2</sup>).

O fluxo de emergência de plântulas de *E. plantagineum* foi avaliado em quatro áreas caracterizadas pelos sistemas consolidados de plantio direto e convencional a cinco anos. Realizou-se um experimento bifatorial, no qual o primeiro fator correspondeu a 25 meses de avaliação (junho de 2017 a junho de 2019) e o segundo a sistemas de manejo constituindo quatro tratamentos: [1] pastagem de azevém sem

controle de *E. plantagineum* seguido pelo cultivo de soja no sistema de plantio com preparo de solo com subsolador e grade; [2] azevém com controle de *E. plantagineum* e soja no sistema de plantio com preparo de solo com subsolador e grade; [3] azevém sem controle de *E. plantagineum* seguido pelo cultivo de soja no sistema de plantio direto; [4] azevém com controle de *E. plantagineum* e soja no sistema de plantio direto. Os sistemas de plantio direto apresentaram aproximadamente 3,0 toneladas de palha ha<sup>-1</sup>. Cada área apresentou dimensões de 40x40 m (1600 m<sup>2</sup>), na qual foi avaliada a emergência de plântulas de *E. plantagineum* utilizando um quadrado medindo 0,5 x 0,5 m lançado aleatoriamente em cada área numa configuração em “W”, com 12 repetições por tratamento, onde realizou-se as contagens de plântulas emergidas uma vez por mês, sempre no final de cada mês (VOLL et al., 2003; FORCELLA et al., 2004).

Nas áreas onde foi realizado o controle de *E. plantagineum*, realizou-se a aplicação do herbicida 2,4-D, na dose de 1209 g de i.a. ha<sup>-1</sup>, no mês de abril, após a colheita da soja e uma nova aplicação em julho, após o maior fluxo de emergência da planta daninha. Para o cultivo da soja no sistema com preparo de solo, realizou-se antes da semeadura, no início do mês de novembro, uma subsolagem na profundidade de 0,25-0,30 m e uma gradagem leve. No sistema de semeadura direta, realizou-se a dessecação das plantas na área, 15 dias antes da semeadura da soja, utilizando-se 1440 g de i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato e 49 g de i.a. ha<sup>-1</sup> de saflufenacil, realizando os demais tratos culturais conforme as indicações técnicas para a cultura da soja (SALVADORI et al., 2016).

Para a estimativa do banco de sementes no solo realizou-se um experimento trifatorial, considerando para esta avaliação o delineamento inteiramente casualizado. O primeiro fator foi representado pelos sistemas de manejo, os mesmos do experimento anterior, o segundo por cinco coletas de solo realizadas nos meses de junho (2017, 2018 e 2019) e dezembro (2017 e 2018) com trado cilíndrico de 5,0 cm de diâmetro e o terceiro fator por quatro profundidades de coleta de solo (0-5; 5-10; 10-15 e 15-20 cm) de acordo com a metodologia de Voll et al. (2003) e Forcella et al. (2004). Em cada área e profundidade, foram coletadas 5 amostras compostas por três sub amostras, realizando coletas numa configuração em “W” na área, na forma de amostragem. As amostras de solo foram lavadas em peneiras de latão, de 20 cm de diâmetro e malha de 0,5 mm, utilizando água corrente de acordo com a metodologia de Forcella et al. (2004). As sementes de *E. plantagineum* encontradas foram

submetidas ao teste de tetrazólio e classificadas como viáveis (computadas no banco de semente no solo) ou mortas, para isso, os diásporos foram colocados em solução aquosa de 2,3,5-trifenil cloreto de tetrazólio (0,1%) à 35 °C, por quatro horas, conforme metodologia de Brasil (2009).

### **Armazenamento das sementes**

Os diásporos (fruto concrecido com a semente) utilizados neste experimento foram coletados no mesmo local descrito no experimento anterior. Realizou-se um fatorial 9 x 3 x 2, em que o primeiro fator foi representado por tempos de armazenamento dos diásporos (120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 e 360 dias após a coleta), o segundo por ambientes de armazenamento (temperatura ambiente em condições não controladas, câmara fria a  $\pm 10$  °C com umidade relativa do ar de 50% e no solo sob condições ambientais) e o terceiro com ou sem superação de dormência com nitrato de potássio (0,2%) por 12 h seguido de ácido giberélico (500 mg L<sup>-1</sup>) por 48 h (ROSO et al., 2017). Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições de 50 diásporos, totalizando 200 por tratamento, sendo considerada semente germinada quando ocorresse a protusão da raiz primária ( $\geq 2$  mm) conforme Bewley e Black (1994).

Os diásporos que permaneceram à temperatura ambiente (condição de laboratório) ou em câmara fria a  $\pm 10$  °C foram armazenados em sacos de papel kraft, com 250 diásporos, até a realização dos testes de germinação. Nos tratamentos em que os diásporos permaneceram no solo, os mesmos foram acondicionados em pequenos sacos de tecido sintético permeável (tule) com 300 diásporos cada e enterrados em canteiros, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, na profundidade de 20 cm de acordo com a metodologia descrita por Guimarães et al. (2004).

As variáveis avaliadas foram germinação aos quatro e 14 DAS (dias após a semeadura) e a viabilidade das sementes que não germinaram foi verificada pelo teste de tetrazólio, conforme descrito anteriormente. O teste de germinação foi conduzido em caixas de acrílico transparentes do tipo gerbox (11,0 x 11,0 x 3,5 cm), sob três folhas de papel germiteste umedecidas com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco e mantidas em câmara de germinação do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.) com temperatura de 20 °C e fotoperíodo de 24

horas de luz artificial no interior da câmara ( $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de iluminância) (BRASIL, 2009; ROSO et al., 2017).

Os dados de temperaturas mínimas e máximas do ar, para os dois experimentos, e precipitação para o experimento de armazenamento das sementes foram coletados na estação meteorológica automática localizada na Universidade Federal de Santa Maria, já a precipitação para o experimento de fluxo de emergência foi registrada no local do experimento (Figuras 1 e 2).

Os dados foram submetidos aos testes de pressupostos, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias, para as variáveis banco de sementes do solo, os dados foram transformados para  $\sqrt{\ln(x+5)}$  e para fluxo de emergência  $\sqrt{(x+5)}$ . As variáveis em porcentagem, os dados foram transformados para arco-seno  $\sqrt{\%/100}$ . Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) através do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott em 0,05 de probabilidade de erro. Para as variáveis avaliadas no experimento de armazenamento dos diásporos, realizou-se análise de regressão polinomial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

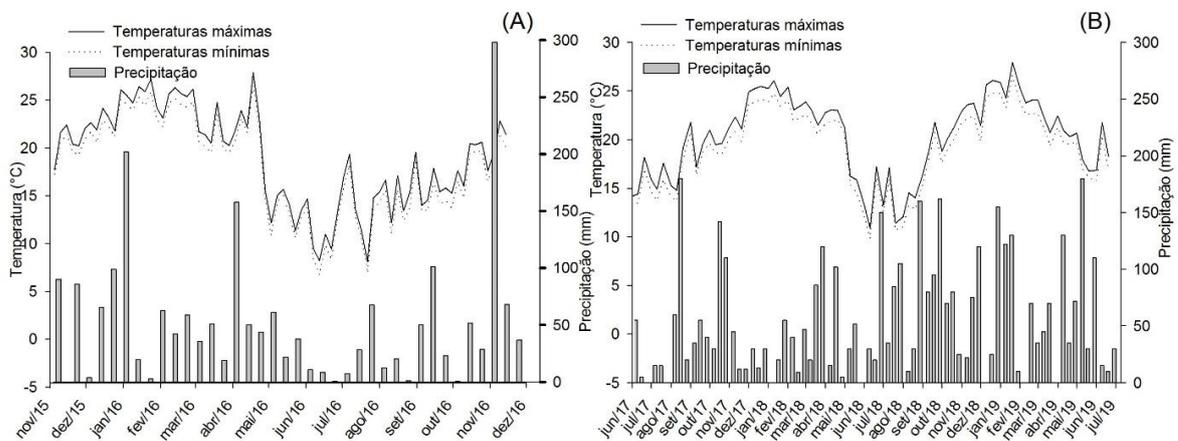
### **Fluxo de emergência e banco de semente de *Echium plantagineum***

Os resultados indicam que houve influência dos sistemas de manejo no fluxo de emergência e banco de semente do solo. Assim, houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) no fluxo de emergência (Tabela 1) entre as datas de amostragem e sistemas de manejo, e no banco de semente do solo entre as datas de amostragem e profundidades (Tabelas 2), sistemas de manejo e profundidades (Tabelas 3) e sistemas de manejo e datas de amostragem (Tabelas 4).

Verificou-se que houve concentração dos fluxos de emergência nos meses de janeiro a abril (Tabela 1). Em 2018, constatou-se o maior fluxo de emergência no mês de janeiro, em todos os sistemas de manejo, chegando a 392 plântulas  $\text{m}^{-2}$  no sistema de plantio direto sem controle de *E. plantagineum*, diferindo estatisticamente dos demais sistemas de manejo. Estes resultados podem estar relacionados a um período sem precipitação, com temperaturas mais elevadas (primeiros 15 dias do mês de janeiro) seguido por precipitações com volumes regulares (Figura 1B) durante o

restante do mês, estimulando o fluxo de emergência. Em 2019, o maior fluxo de emergência ocorreu no mês de fevereiro, com destaque para o sistema de plantio direto sem controle, no qual emergiram 101 plântulas  $m^{-2}$ . Esse resultado pode estar relacionado à precipitação de 420 mm de chuva ocorrida no período de 20 de dezembro de 2018 a 20 de janeiro de 2019 (Figura 1B), retardando a emergência para o mês de fevereiro, observando-se maior fluxo, após um período de 20 dias sem precipitação, 20 de janeiro a 10 de fevereiro, com a regularização da precipitação em volumes e distribuição. Além disso, foi observado maior emergência da espécie nos meses em que as temperaturas médias do ar variaram entre 20 e 25 °C, coincidindo com os meses de janeiro a abril (Figura 1B). Esses resultados corroboram com os encontrados por Roso et al. (2017), no qual os autores descreveram a temperatura de 20 °C como preferencial para a germinação de *E. plantagineum*. Resultados semelhantes foram encontrados por Florentine et al. (2018), em que os fluxos de emergência de *E. plantagineum* na Austrália, ocorreram preferencialmente no final do verão e início do outono, não ocorrendo emergência nos meses mais frios. Além disso, a alternância entre períodos chuvosos e secos estimula fluxos de emergência desta espécie (SHEPPARD e SMYTH, 2012).

Figura 1- Temperaturas mínimas e máximas do ar e precipitação (A) no período compreendido entre os meses de dezembro de 2015 a dezembro de 2016(A) e junho de 2017 a julho de 2019 (B), coletados na estação meteorológica automática da Universidade Federal de Santa Maria. A precipitação (B) foi registrada no local do experimento no município de Restinga Seca.



De maneira geral, o sistema de plantio direto sem controle de *E. plantagineum* apresentou maior fluxo de emergência, para os anos de 2018 e 2019, independente da data de amostragem. Já, nos tratamentos em que foi realizado o controle desta espécie, o fluxo de emergência foi menor que os sem controle, ocorrendo no sistema de plantio direto menor fluxo de emergência que no sistema convencional (Tabela 1).

Tabela 1 - Fluxo de emergência (plantas m<sup>-2</sup>) mensal de *Echium plantagineum* em sistema consolidado de plantio convencional e plantio direto, sem e com controle com herbicida.

Datas de amostragem	Plantio convencional		Plantio direto	
	Sem controle	Com controle	Sem controle	Com controle
Junho	8,7 fB <sup>1</sup>	19,4 cA	19,0 hA	10,0 aB
Julho	7,3 fB	3,3 eC	20,3 hA	5,3 bB
Agosto	3,0 gB	7,3 dA	4,3 jB	2,7 cB
Setembro	0,3 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Outubro	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Novembro	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Dezembro	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Janeiro	194,0 aB	91,0 aC	392,3 aA	14,7 aD
fevereiro	28,7 dB	16,0 cC	51,3 fA	3,3 cD
Março	97,3 bB	85,0 aB	291,7 bA	6,7 bC
Abril	13,0 eB	8,3 dB	56,7 fA	1,3 cC
Maio	1,7 hB	1,0 fB	8,0 iA	0,3 dB
Junho	0,7 hB	0,0 fB	5,7 jA	1,0 cB
Julho	3,0 gA	0,3 fB	4,0 jA	0,7 dB
Agosto	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Setembro	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Outubro	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Novembro	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Dezembro	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Janeiro	0,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	0,0 k	0,0 d
Fevereiro	57,0 cB	30,7 bC	101,7 cA	1,3 cD
Março	29,0 dB	10,0 dC	81,3 eA	1,7 cD
Abril	22,0 dB	10,7 dC	33,3 gA	1,7 cD
Maio	3,7 gB	2,0 eB	15,0 hA	1,0 cB
Junho	1,0 h <sup>ns</sup>	0,0 f	1,3 k	0,0 d
CV (%) <sup>2</sup>	13,8			

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Scott-knott (p-valor<0,05); <sup>2</sup> coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo.

Isso pode ter ocorrido-pelo sistema de plantio direto concentrar as sementes na superfície do solo, estando expostas a variações de temperatura, umidade, e ataque de insetos e patógenos, proporcionando maior mortalidade de sementes, assim como menor número de fluxos de emergência com mais intensidade, após superada a dormência e sob condições ideais de germinação (WHITE et al., 2007; SINGH; BHULLAR; CHAUHAN, 2015B). No sistema convencional o revolvimento distribui as sementes no perfil do solo, germinando apenas aquelas próximas à superfície, ocorrendo maior alimentação do banco de semente do solo, estabelecendo um microambiente favorável para as sementes permanecerem viáveis no solo por longos períodos, podendo permanecer por até 10 anos (SHEPPARD e SMYTH, 2012; FLORENTINE et al., 2018).

Verificou-se na amostragem do banco de semente no solo em junho de 2017, antes da implantação do experimento, que aproximadamente 86% das sementes se concentravam nos primeiros 10 cm de profundidade. Após a aplicação dos sistemas de manejo, plantio convencional e plantio direto ambos sem ou com controle de *E. plantagineum*, em junho de 2019, observou-se redução de 89% do banco de semente do solo nos primeiros 10 cm de profundidade, não apresentando diferença significativa nas profundidades de 10-15 e 15-20 cm (Tabela 2).

Tabela 2– Banco de sementes no solo (sementes viáveis m<sup>2</sup>) de *Echium plantagineum* em diferentes datas de amostragem e profundidades.

Datas de amostragem	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-15	15-20
Junho/17 <sup>3</sup>	1681 aB <sup>1</sup>	2114 aA	306 <sup>ns</sup> C	331 <sup>ns</sup> C
Dezembro/17	1044 aA	509 aB	280 B	229 B
Junho/18	866 b <sup>ns</sup>	484 a	306	407
Dezembro/18	1146 aA	707 aB	611 B	229 B
Junho/19	280 b <sup>ns</sup>	153 b	458	560
CV (%) <sup>2</sup>	27,7			

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Scott-knott (p-valor<0,05); <sup>2</sup> coeficiente de variação; <sup>3</sup> amostragem do banco de sementes do solo antes da implantação dos sistemas de manejo; <sup>ns</sup> não significativo.

Nos primeiros 5 cm de profundidade, nos sistemas de plantio convencional (com e sem controle) e plantio direto sem controle de *E. plantagineum* foi verificado mais de 1000 sementes m<sup>2</sup>, diferindo estatisticamente do sistema de plantio direto

com controle, com 428 sementes  $m^{-2}$  (Tabela 3). Na profundidade de 5-10 cm no sistema de plantio convencional sem controle observou-se maior banco de semente do solo, com 1543 sementes  $m^{-2}$ , não diferindo do sistema de plantio convencional com controle e plantio direto sem controle. Já nas profundidades de 10-15 e 15-20 cm, nos sistemas de plantio convencional observou-se mais de 500 sementes  $m^{-2}$ , diferindo dos sistemas de plantio direto com menos de 183 sementes  $m^{-2}$ . O maior número de sementes nos sistemas de plantio convencional em maiores profundidades pode estar relacionado ao revolvimento do solo, que distribui as sementes dispersas na superfície de forma vertical no perfil do solo, proporcionando alimentação do banco de sementes (SINGH; BHULLAR; CHAUHAN, 2015A), as quais podem permanecer dormentes até ocorrer novo revolvimento estimulando a germinação.

Tabela 3– Banco de sementes no solo (sementes viáveis  $m^{-2}$ ) de *Echium plantagineum* em diferentes sistemas de manejo e profundidades.

Sistemas de manejo		Profundidades (cm)			
		0-5	5-10	10-15	15-20
Plantio convencional	Sem controle	1019 aB <sup>1</sup>	1543 aA	652 aB	672 aB
	Com controle	1222 a <sup>ns</sup>	998 a	815 a	509 a
Plantio direto	Sem controle	1345 aA	489 aB	61 bC	41 bC
	Com controle	428 bA	143 bB	41 bB	183 bB
CV (%) <sup>2</sup>		27,7			

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Scott-knott ( $p$ -valor $<0,05$ ); <sup>2</sup> coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo.

Onde foi utilizado os sistemas de plantio convencional (com e sem controle) mais de 1500 sementes  $m^{-2}$  em junho de 2017, reduzindo aproximadamente 65% até junho de 2019, no entanto, ainda contavam com mais de 400 sementes  $m^{-2}$ . Nos sistemas de plantio direto haviam aproximadamente 500 sementes  $m^{-2}$  em junho de 2017, ocorrendo redução de 90% do banco de semente até junho de 2019, ao realizar o controle de *E. plantagineum*, restando 51 sementes  $m^{-2}$ . No sistema de plantio direto sem controle, também ocorreu redução no banco de semente, no entanto, não ocorreu diferença significativa nas datas de amostragem (Tabela 4).

Dessa forma, nos sistemas de plantio convencional mesmo realizando o controle não ocorreu redução significativa do banco de semente, possivelmente por apresentar sementes dormentes dispersas em profundidade, em contrapartida, no

sistema de plantio direto ao realizar o controle desta espécie ocorreu rápido esgotamento do banco de semente, por ficarem mais expostas a variações do ambiente e ataque de insetos e patógenos.

Tabela 4– Banco de sementes do solo (sementes m<sup>-2</sup>) de *Echium plantagineum* em diferentes sistemas de manejo e épocas de amostragem.

Sistemas de manejo		Datas de amostragem				
		Junho/17	Dezembro/17	Junho/18	Dezembro/18	Junho/19
Plantio convencional	Sem controle	1834 aA <sup>1</sup>	560 aB	611 aB	1114 aA	739 aB
	Com controle	1579 aA	662 aB	739 aB	1019 aA	433 aB
Plantio direto	Sem controle	535 b <sup>ns</sup>	713 a	407 b	535 b	229 b
	Com controle	484 bA	127 bA	306 bA	26 cB	51 bB
CV (%) <sup>2</sup>		27,7				

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Scott-knott (p-valor<0,05); <sup>2</sup> coeficiente de variação; <sup>ns</sup> não significativo.

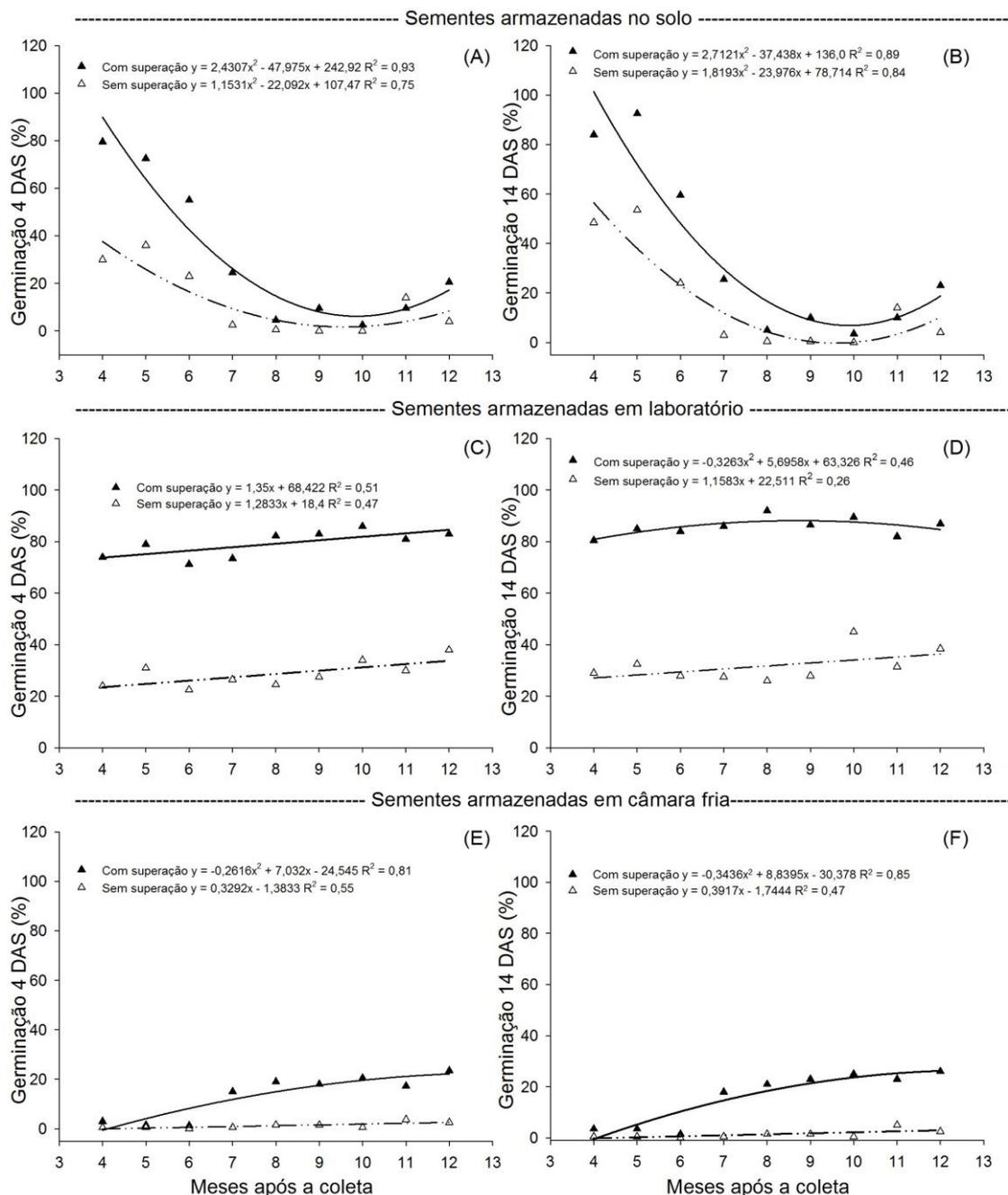
De acordo com trabalhos de Singh, Bhullar e Chauhan (2017) o banco de semente do solo é rapidamente esgotado quando, após ocorrer intensos fluxos de emergência, é realizado o controle, não permitindo a introdução de novas sementes.

### Armazenamento das sementes

Verificou-se que houve interação significativa (p<0,05) entre superação de dormência e tempos de armazenamento das sementes de *E. plantagineum* para as variáveis germinação aos 4 e 14 DAS e sementes dormentes. Nas sementes armazenadas no solo foi observado comportamento quadrático para a germinação aos 4 e 14 DAS (Figuras 2A e B) e sementes dormentes (Figura 3A) durante o armazenamento, com e sem superação de dormência. Sementes armazenadas quatro meses no solo apresentaram maior germinação aos 4 DAS, 79 e 30% com e sem superação de dormência, respectivamente, decrescendo até praticamente não ocorrer germinação ao décimo mês de armazenamento. Após, houve um aumento até os 12 meses, com germinação próxima a 20 e 10%, com e sem superação de dormência, respectivamente (Figura 2A). A germinação aos 14 DAS (Figura 2B) apresentou comportamento semelhante aos 4 DAS, com maior germinação no quarto

mês, 84 e 48% com e sem superação de dormência, respectivamente, reduzindo e praticamente não ocorrendo germinação no décimo mês e aumentando até os 12 meses, independente da superação de dormência.

Figura 2- Percentagem de germinação mensal de sementes de *Echium plantagineum* aos 4 e 14 DAS (dias após a semeadura) submetidas ao armazenamento por 12 meses em três condições: no solo (condições ambientais), laboratório (condições não controladas) e câmara fria ( $\pm 10$  °C), com e sem a superação de dormência com nitrato de potássio (0,2%) por 12 h seguido de ácido giberélico (500 mg L<sup>-1</sup>) por 48 h.



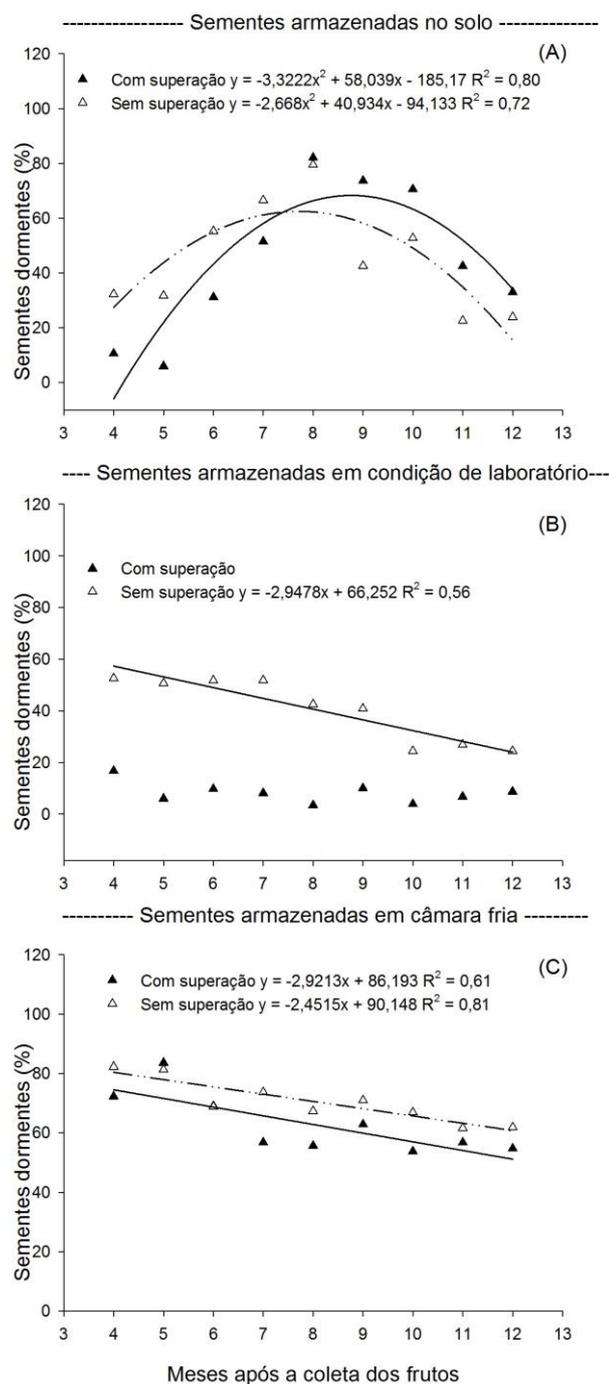
O contrário ocorreu com as sementes dormentes, nas quais se observou maior porcentagem aos 9 e 8 meses de armazenamento das sementes no solo, 68 e 63% com e sem a superação de dormência, respectivamente (Figura 3A). Estes resultados indicam que, no solo, no quarto mês de armazenamento, a maioria das sementes possuía a dormência superada, entrando novamente em dormência durante o armazenamento até os 10 meses, ocorrendo um novo ciclo de superação de dormência e germinação a partir dos 10 até os 12 meses. A menor germinação coincidiu com os meses de junho a outubro, em que a temperatura média do ar permaneceu abaixo de 20 °C (Figura 1A). Esses resultados confirmam os encontrados no experimento de fluxo de emergência, que praticamente não apresentou emergência nos meses de junho a dezembro. Segundo Guimarães et al. (2004) o decréscimo da germinação durante o armazenamento pode ter ocorrido pela indução de dormência secundária, muito comum em algumas espécies de plantas daninhas, quando as condições não são favoráveis à germinação. Além disso, observou-se que aproximadamente 44% das sementes perderam a viabilidade durante o armazenamento no solo por 12 meses (Figuras 2A e 3A). Esses resultados são semelhantes aos descritos por Sheppard e Smyth (2012), segundo os quais aproximadamente 35% das sementes de *E. plantagineum* perdem a viabilidade durante o primeiro ano após serem dispersadas no solo, dependendo das condições de cultivo, podendo persistir viáveis no solo por até 10 anos em condições ideais de temperatura e umidade.

As sementes armazenadas em condição de laboratório (em condições não controladas) apresentaram menor variação de germinação, e pequeno incremento ao longo do armazenamento, com germinação próxima a 80 e 30% aos 14 DAS, com e sem superação da dormência, respectivamente, aos 12 meses de armazenamento. Resultados semelhantes ocorreu para germinação aos 4 DAS (Figura 2C e D). Verificou-se decréscimo de sementes dormentes, sem a superação da dormência, indicando que a dormência foi sendo superada de forma linear com o armazenamento em condição de laboratório. Com a superação da dormência, menos de 10% das sementes permaneceram dormentes durante todo o armazenamento (Figura 3B). Os dados obtidos não permitiram o ajuste da equação de regressão.

Em câmara fria, quando as sementes não foram submetidas à superação de dormência a germinação ficou abaixo de 5%, e nas sementes submetidas à superação

de dormência ocorreu incremento de germinação ao decorrer do armazenamento, atingindo 20% aos 14 DAS aos 12 meses (Figuras 2E e F).

Figura 3- Sementes dormentes viáveis de *Echium plantagineum* após o teste de germinação, submetidas ao armazenamento por 12 meses em três condições: no solo (condições ambientais), laboratório (condições não controladas) e câmara fria ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ), com e sem a superação de dormência com nitrato de potássio (0,2%) por 12 h seguido de ácido giberélico (500 mg  $\text{L}^{-1}$ ) por 48 h.



Já a porcentagem de sementes dormentes mostrou decréscimo linear durante o armazenamento, verificando-se aos 12 meses aproximadamente 60% de sementes dormentes, independente de ser superada ou não a dormência (Figura 3C). De acordo com Yamaguchi (2008), a baixa germinação das sementes pode estar relacionada à biossíntese de giberelinas em excesso estimulada pela baixa temperatura, devido ao longo período de exposição, tornando-se tóxico e inibindo a germinação.

## CONCLUSÕES

O fluxo de emergência de *E. plantagineum* se concentra nos meses de janeiro a abril independente do sistema de manejo.

O sistema de plantio direto proporciona menor fluxo de emergência e rápida redução do banco de semente do solo, quando realizado o controle de *E. plantagineum* com herbicida.

O tempo de armazenamento das sementes de *E. plantagineum* no solo reduz a germinação e aumenta a porcentagem de sementes dormentes, podendo estar relacionada à indução de dormência secundária.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREASEN, C.; JENSEN, H. A.; JENSEN, S. M. Decreasing diversity in the soil seed bank after 50 years in Danish arable fields. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l.], v. 259, n.1, p. 61–71, 2018.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

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

BROWN, K.; BETTINK, K. **Swan Weeds: Management Notes**, Flora Base – The Western Australian Flora, 2011. Disponível em: <florabase.dpaw.wa.gov.au/browse/profile/6681>. Acesso em 29/04/2017.

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

FORCELLA, F.; WEBSTER, T. Y.; CARDINA J. Protocolos para la determinación de bancos de semillas de malezas em los agrosistemas. In: LABRADA, R. **Manejo de malezas para países em desarrollo**. Addendum I. FAO, Roma, c. 1, p. 3-22, 2004.

FLORENTINE, S. et al. Seed germination response of a noxious agricultural weed *Echium plantagineum* to temperature, light, pH, drought stress, salinity, heat and smoke. **Crop e Pasture Science**, [S. l.], v. 69, n. 1, p. 326-333, 2018.

GRIGULIS, K. et al. The comparative demography of the pasture weed *Echium plantagineum* between its native and invaded ranges. **Journal of Applied Ecology**, Reino Unido, v. 38, n. 1, p. 281-290, 2001.

GULDEN, R. H.; SHIRTIFFE, S. J. Weed seed banks: biology and management. **Weeds, Herbicides and Management**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 46-52, 2009.

GUIMARÃES, S. C. et al. Viabilidade de sementes de erva-de-touro, sob diferentes condições de armazenamento. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 231-238, 2004.

HOSSAIN, M. M.; BEGUM, M. Soil weed seed bank: importance and management for sustainable crop production- a review. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 221–228, 2015.

IKEDA, F. S. et al. Luz e KNO<sub>3</sub> na germinação de sementes de *Tridax procumbens* sob temperatura constante e alternada. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 751-756, 2008.

JAKELAITIS, A.; SOARES, M. P.; CARDOSO, I. S. Banco de sementes de plantas daninhas em solos cultivados com culturas e pastagens. **Global Science e Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 2, p. 63-73, 2014.

KUMARI, S.; PRADHAN, S. S.; CHAUHAN, J. Dynamics of weed seed bank and its management for sustainable crop production. **International Journal of Chemical Studies**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 643-647, 2018.

MENALLED, F. **Weed Seedbank Dynamics e Integrated Management of Agricultural Weeds**. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University-Bozeman. 2008. Disponível em: <www.msu.extension.org/publications.asp> Acesso em: 05/09/2018.

MOREIRA, H. J. da C.; BRAGANÇA, H. A. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes – Cultivos de verão**, Campinas. 2010.

PAZUCH, D. et al. Superação da dormência em sementes de três espécies de *Ipomoea*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, 2015.

ROSO, R. et al. Germination of *Echium plantagineum* L. seeds submitted to dormancy overcoming and variations in temperature, light and depth of sowing. **Journal of seed science**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 262-271, 2017.

SAINT-HILAIRE, A. de. **Plantas usuais dos brasileiros**. Organizado por: BRANDÃO, M. da G. L.; PIGNAL, M. Tradução: MOURÃO, C. P. B.; SANTIAGO, C. F. Belo Horizonte: Código Comunicação, 2009. 392 p.

SALVADORI, J. R. et al. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018**. 41ª Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2016.

SHEPPARD, A. W.; SMYTH, M. J. '*Echium plantagineum* L. – Paterson's curse'. In: JULIEN, M.; MCFADYENAND, R.; CULLEN, J (eds.), Biological Control of Weeds in Australia. **CSIRO Publishing**, Melbourne, p. 211-226, 2012.

SINGH, M.; BHULLAR, M. S.; CHAUHAN, B. S. Seed bank dynamics and emergence pattern of weeds as affected by tillage systems in dry direct-seeded rice. **Crop Protection**, [S. l.], v. 67, n. 1, p. 168-177, 2015A.

SINGH, M.; BHULLAR, M. S.; CHAUHAN, B. S. Influence of tillage, cover cropping, and herbicides on weeds and productivity of dry direct-seeded rice. **Soil e Tillage Research**, [S. l.], v. 147, n. 1, p. 39-49, 2015B.

SINGH, M.; BHULLAR, M. S.; CHAUHAN, B. S. Relative time of weed and crop emergence is crucial for managing weed seed production: A study under an aerobic rice system. **Crop Protection**, [S. l.], v. 99, p. 33-38, 2017.

VASCONCELOS, M. da C. C. de; SILVA, A. F. A. da; LIMA, R. da S. Interferência de Plantas Daninhas sobre Plantas Cultivadas. **Agropecuária Científica no Semi-árido**, Pedra Mole, v. 8, n. 1, p. 01-06, 2012.

VOLL, E.; ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. C. N. Amostragem do banco de semente e flora emergente de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 211-218, 2003.

YAMAGUCHI, S. Gibberellin metabolismo and its regulation. **Annual Review of Plant Biology**, [S. l.], v. 59, n. 1, p. 225-251, 2008.

VIVIAN, R. et al. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência – breve revisão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 695-706, 2008.

WHITE, S. S. et al. Feeding preferences of weed seed predators and effect on weed emergence. **Weed Science**, [S. l.], v. 55, n. 1, p. 606-612, 2007.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sementes de *E. plantagineum* apresentam sensibilidade a luz, sem superação da dormência, com maior germinação sob incidência de luz vermelha. A superação da dormência com nitrato de potássio, seguida pela imersão em ácido giberélico proporciona a germinação de *E. plantagineum*, independente da incidência e qualidade da luz, podendo ser consideradas fotoblásticas neutras. Diante disso, sem tratamento de superação da dormência, as sementes desta espécie podem ser consideradas fotoblásticas positivas preferenciais.

A presença de alumínio no substrato tem efeito tóxico na germinação das sementes, comprimentos da raiz primária e parte aérea, e massa seca de plântula de *E. plantagineum*. Já o pH do substrato, não é um fator limitante à germinação das sementes. Mesmo com efeito tóxico do alumínio à germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas, mais da metade das sementes germinam independente do pH do substrato, podendo ser suficiente para infestar um ambiente.

Em campo, os fluxos de emergência de *E. plantagineum* se concentram nos meses de janeiro a abril, independente do sistema de manejo utilizado. O controle de *E. plantagineum*, com herbicida, no sistema de plantio direto, proporciona menor fluxo de emergência e rápida redução do banco de semente do solo. A não realização do controle neste sistema, promove fluxos de emergência mais intensos. O armazenamento das sementes de *E. plantagineum* no solo ao longo do tempo, reduz a germinação e aumenta a porcentagem de sementes dormentes, podendo estar relacionada à indução de dormência secundária.

Como sugestão de futuros trabalhos, pode-se avaliar a capacidade de competição com culturas, estudar a supressão de germinação, crescimento e desenvolvimento de *E. plantagineum* por culturas de inverno, monitorar a resistência a herbicidas mimetizadores de auxina visto a dificuldade de controle que se tem observado em campo. Além de quantificar e mapear amostras de sementes de culturas de inverno, analisadas por laboratórios de análises de sementes credenciados ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que possuem sementes de *E. plantagineum*.

## APÊNDICE

**APÊNDICE A - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS AVALIADAS: GERMINAÇÃO AOS 4 E 14 DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS), ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) E TEMPO MÉDIO DE GERMINAÇÃO (TMG) DE SEMENTES DE *E. plantagineum* SUBMETIDAS A DIFERENTES QUALIDADES DE LUZ (QL) E SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA (SD).**

Fatores	GL <sup>4</sup>	Quadrados médios			
		4 DAS <sup>1</sup>	14 DAS <sup>1</sup>	IVG <sup>2</sup>	TMG <sup>2</sup>
Qualidades de luz (QL)	5	188,26*	201,52*	0,61*	2,89*
Superação da dormência (SD)	1	26302,07*	23883,30*	47,60*	34,68*
QL x SD	5	133,86*	165,28*	0,55*	2,78*
Resíduo	36	19,39	9,21	0,01	0,11
CV (%) <sup>3</sup>		9,86	5,89	4,85	7,41
Média		44,66	51,55	2,63	4,54

\*significativo em 0,05 de probabilidade de erro, pelo teste F; <sup>1</sup> dados transformados; <sup>2</sup> dados originais; <sup>3</sup> coeficiente de variação; <sup>4</sup> graus de liberdade.

**APÊNDICE B - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS AVALIADAS: GERMINAÇÃO AOS 4 E 14 DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS), ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG), COMPRIMENTO DE PARTE AÉREA (PA), COMPRIMENTO DE RAIZ (RA) E MASSA SECA DE PLÂNTULAS (MS) DE SEMENTES DE *E. plantagineum* EXPOSTA A CONCENTRAÇÕES DE SULFATO DE ALUMÍNIO.**

Fatores	GL <sup>4</sup>	Quadrados médios					
		4 DAS <sup>1</sup>	14 DAS <sup>1</sup>	IVG <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup>	RA <sup>2</sup>	MS <sup>2</sup>
Alumínio	9	13,38*	63,10*	1,15*	0,58*	0,22*	0,10*
Resíduo	30	11,31	7,45	0,45	0,02	0,01	0,04
CV (%) <sup>3</sup>		12,31	7,9	17,44	16,04	19,70	14,46
Média		27,32	34,55	3,87	0,95	0,58	1,46

\*significativo em 0,05 de probabilidade de erro, pelo teste F; <sup>1</sup> dados transformados; <sup>2</sup> dados originais; <sup>3</sup> coeficiente de variação; <sup>4</sup> graus de liberdade.

**APÊNDICE C - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS AVALIADAS: GERMINAÇÃO AOS 4 E 14 DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS), ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG), COMPRIMENTO DE PARTE AÉREA (PA), COMPRIMENTO DE RAIZ (RA) E MASSA SECA DE PLÂNTULAS (MS) DE SEMENTES DE *E. plantagineum* EXPOSTA A NÍVEIS DE pH.**

Fatores	GL <sup>4</sup>	Quadrados médios					
		4 DAS <sup>1</sup>	14 DAS <sup>1</sup>	IVG <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup>	RA <sup>2</sup>	MS <sup>2</sup>
pH	7	56,62*	9,64*	0,68*	0,16*	0,18*	0,15*
Resíduo	24	27,36	9,82	0,53	0,02	0,03	0,03
CV (%) <sup>3</sup>		17,94	7,49	16,81	11,55	13,51	10,15
Média		29,16	41,84	4,33	1,13	1,23	1,72

\*significativo em 0,05 de probabilidade de erro, pelo teste F; <sup>1</sup> dados transformados; <sup>2</sup> dados originais; <sup>3</sup> coeficiente de variação; <sup>4</sup> graus de liberdade.

**APÊNDICE D - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS AVALIADAS: GERMINAÇÃO AOS 4 E 14 DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS), ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG), COMPRIMENTO DE PARTE AÉREA (PA), COMPRIMENTO DE RAIZ (RA) E MASSA SECA DE PLÂNTULAS (MS) DE SEMENTES DE *E. plantagineum* EXPOSTAS A NÍVEIS DE pH E CONCENTRAÇÕES DE SULFATO DE ALUMÍNIO.**

Fatores	GL <sup>4</sup>	Quadrados médios					
		4 DAS <sup>1</sup>	14 DAS <sup>1</sup>	IVG <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup>	RA <sup>2</sup>	MS <sup>2</sup>
pH	3	227,68*	36,80*	3,47*	0,14*	0,10*	0,01
Alumínio	3	108,57*	97,54*	4,02*	0,78*	1,95*	0,57*
pH x Alumínio	9	38,63*	14,18*	1,74*	0,11*	0,07*	0,05*
Resíduo	48	3,40	4,13	0,23	0,009	0,02	0,02
CV (%) <sup>3</sup>		4,83	3,78	6,41	9,99	21,12	9,95
Média		38,19	53,75	7,41	0,97	0,72	1,53

\*significativo em 0,05 de probabilidade de erro, pelo teste F; <sup>1</sup> dados transformados; <sup>2</sup> dados originais; <sup>3</sup> coeficiente de variação; <sup>4</sup> graus de liberdade.

**APÊNDICE E - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL FLUXO DE EMERGÊNCIA DE *E. plantagineum*, EM SISTEMAS DE MANEJOS (S) COM AVALIAÇÃO MENSAL (M).**

Fatores	GL <sup>3</sup>	Quadrados médios
		Fluxo de emergência <sup>1</sup>
Sistemas de manejos (S)	3	507,55*
Mês (M)	24	453,52*
S x M	72	47,09*
Resíduo	1100	0,99
CV (%) <sup>2</sup>		13,81
Média		7,20

\*significativo em 0,05 de probabilidade de erro, pelo teste F; <sup>1</sup> dados transformados; <sup>2</sup> coeficiente de variação; <sup>3</sup> graus de liberdade.

**APÊNDICE F - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL BANCO DE SEMENTES DO SOLO DE *E. plantagineum*, EM COLETAS (C) REALIZADAS EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJOS (S) E PROFUNDIDADES (P).**

Fatores	GL <sup>3</sup>	Quadrados médios
		Banco de sementes <sup>1</sup>
Coletas (C)	4	1,78*
Sistemas de manejos (S)	3	9,30*
Profundidades (P)	3	5,39*
C x S	12	0,38*
C x P	12	0,81*
S x P	9	0,23*
C x S x P	36	0,45*
Resíduo	320	0,29
CV (%) <sup>2</sup>		27,75
Média		1,93

\*significativo em 0,05 de probabilidade de erro, pelo teste F; <sup>1</sup> dados transformados; <sup>2</sup> coeficiente de variação; <sup>3</sup> graus de liberdade.

**APÊNDICE G - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS: GERMINAÇÃO AOS 4 E 14 DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS) E SEMENTES DORMENTES VIÁVEIS (DV) DE *E. plantagineum* SUBMETIDAS A TEMPOS (T), LOCAIS DE ARMAZENAMENTO (L) E SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA (S).**

Fatores	GL <sup>3</sup>	Quadrados médios		
		4 DAS <sup>1</sup>	14 DAS <sup>1</sup>	DV <sup>1</sup>
Tempos de armazenamento (T)	8	347,18*	558,68*	395,79*
Locais de armazenamento (L)	2	24100,61*	27037,67*	13851,08*
Superação de dormência (S)	1	22814,61*	27110,72*	5295,51*
T x L	16	1173,13*	1618,14*	753,62*
T x S	8	65,82*	74,94*	249,41*
L x S	2	1457,29*	1856,97*	2564,15*
T x L x S	16	130,65*	131,98*	162,43*
Resíduo	162	15,96	17,44	47,15
CV (%) <sup>2</sup>		14,44	13,82	16,53
Média		27,66	30,22	41,55

\*significativo em 0,05 de probabilidade de erro, pelo teste F; <sup>1</sup> dados transformados; <sup>2</sup> coeficiente de variação; <sup>3</sup> graus de liberdade.