

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

Maicon Pivetta

**CONDIÇÕES HIDRICAS DO SOLO NA AÇÃO DE HERBICIDAS PARA O
CONTROLE E CRESCIMENTO DE *Lolium multiflorum* Lam**

Santa Maria, RS
2022

Maicon Pivetta

**CONDIÇÕES HIDRICAS DO SOLO NA AÇÃO DE HERBICIDAS PARA O
CONTROLE E CRESCIMENTO DE *Lolium multiflorum* Lam**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**

Orientador: Prof. Dr. André da Rosa Ulguim
Co-orientador: Prof. Dr. Alessandro Dal'Col Lucio
Participante: Prof. Dr. Sylvio Henrique Bidel Dornelles

Santa Maria, RS
2022

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Pivetta, Maicon
CONDIÇÕES HIDRICAS DO SOLO NA AÇÃO DE HERBICIDAS PARA
O CONTROLE E CRESCIMENTO DE Lolium multiflorum Lam /
Maicon Pivetta.- 2022.
62 p.; 30 cm

Orientadora: André da Rosa Ulguim
Coorientadores: Alessandro Dal'Col Lucio, Sylvio
Henrique Bidel Dornelles
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2022

1. Azevém 2. Planta daninha I. da Rosa Ulguim, André
II. Dal'Col Lucio, Alessandro III. Henrique Bidel
Dornelles, Sylvio IV. Título.

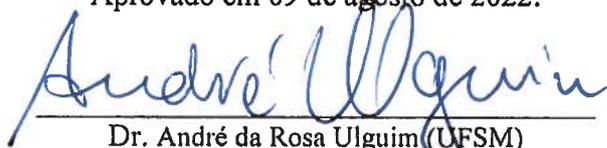
Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, MAICON PIVETTA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

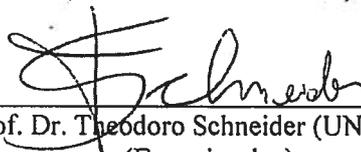
**CONDIÇÕES HIDRICAS DO SOLO NA AÇÃO DE HERBICIDAS PARA O
CONTROLE E CRESCIMENTO DE *Lolium multiflorum* Lam**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**

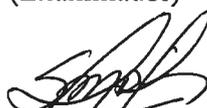
Aprovado em 09 de agosto de 2022:



Dr. André da Rosa Ulguim (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Prof. Dr. Theodoro Schneider (UNICRUZ)
(Examinador)



Prof. Dr. Sylvio Henrique Bidel Dornelles
(Examinador)

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho tornou-se possível pelo esforço conjunto de uma série de pessoas. Aqui deixo os meus sinceros agradecimentos para todos que contribuíram com a execução deste trabalho. Em especial, agradeço.

A Universidade Federal de Santa Maria por possibilitar a execução deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior com a concessão da Bolsa de Mestrado, sendo este um recurso essencial para condução e incentivo a pesquisa acadêmica.

Ao meu orientador, professor Dr. André da Rosa Ulguin, pela atenção e confiança que me foi dada.

Ao meu coorientador professor Dr. Alessandro Dal'Col Lucio pelo direcionamento e confiança desde o início do processo de mestrado.

Ao professor Dr. Sylvio Henrique Bidel Dornelles, o qual esteve presente durante todo período de graduação em Agronomia.

Ao professor Dr. Danie Martini Sanchotene, o qual tenho admiração profissional e pessoal, pelo apoio com conselhos e orientações no âmbito pessoal e profissional.

A minha família, que depositaram em mim toda sua confiança e suporte.

A minha namorada Amanda, por toda a ajuda e o apoio que teve para comigo durante esse período e em tantos outros, desde os momentos difíceis até os de alegria.

RESUMO

CONDIÇÕES HÍDRICAS DO SOLO NA AÇÃO DE HERBICIDAS PARA O CONTROLE E CRESCIMENTO DE *Lolium multiflorum* Lam

AUTOR: Maicon Pivetta

ORIENTADOR: André da Rosa Ulguin

A espécie *Lolium multiflorum* Lam., é frequentemente relatada como planta daninha de difícil controle, o que pode ser provocado pela variabilidade ambiental. Este trabalho objetivou identificar a resposta de crescimento e controle químico de *Lolium multiflorum* Lam., sob diferentes condições hídricas do solo e períodos de exposição. Foram executados dois estudos em casa de vegetação. O primeiro contemplou duas condições de umidade do solo: 30% da capacidade de retenção de água (CRA), lâmina d'água de 5cm acima do solo, inseridas em seis períodos distintos e tratamento adicional com condições ideais de desenvolvimento (80% CRA). Avaliaram-se estatura a cada cinco dias durante todo ciclo de desenvolvimento, massa seca de parte aérea e de raiz, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidases (POD) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), e produção de sementes ao final do experimento. O segundo submeteu as plantas de azevém às duas condições hídricas citadas por seis períodos distintos (0, 5, 10, 15, 20 e 25 dias) antecedendo a aplicação de quatro doses crescentes dos herbicidas glifosato e cletodim. Avaliou-se massa seca de parte aérea corrigida para porcentagem com relação ao tratamento zero dias. A estatura de planta é mais afetada quando cultivada sob condição de lâmina de água, no entanto os períodos de estresse foram igualmente danosos provocando redução de massa seca de raiz e parte aérea havendo maior atividade enzimática SOD e POD neste período. Ambas condições de umidade do solo favoreceram o controle químico proporcionado por glifosato e cletodim nas condições do experimento.

Palavras-Chave: Déficit hídrico, Alagamento, Estresse Ambiental.

ABSTRACT

SOIL WATER CONDITIONS IN THE ACTION OF HERBICIDES FOR THE CONTROL AND GROWTH OF *Lolium multiflorum* Lam

AUTHOR: Maicon Pivetta

ADVISOR: André da Rosa Ulguin

The species *Lolium multiflorum* Lam. is often reported as a weed that is difficult to control, which can be caused by environmental variability. This work aimed to identify the growth response and chemical control of *Lolium multiflorum* Lam., under different soil water conditions and duration periods. Two studies were carried out in a greenhouse. The first included two soil moisture conditions: 30% of the water holding capacity (WRC), water depth of 5 cm above the ground, inserted in six different periods and additional treatment with ideal development conditions (80% WRC). Height were evaluated every five days during the entire development cycle, shoot and root dry mass and seed production at the end of the experiment. The second subjected the ryegrass plants to two water conditions (30% WRC and a water depth of 5 cm above the ground) for six different periods (0, 5, 10, 15, 20 and 25 days) prior to the application of four increasing doses. of herbicides: glyphosate, cletodim. A shoot dry mass was evaluated, corrected for percentage in relation to the zero day treatment. It was concluded that plant height is more affected when cultivated under water depth conditions, however the periods of stress were equally harmful, causing a reduction in root and shoot dry mass, with greater SOD and POD enzymatic activity in this period. Both soil moisture conditions favored the chemical control provided by Glyphosate and Cletodim, evidencing the variability of possible exposures to the stress environment.

Keywords: Water deficit, Flooding, Environmental Stress.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1 – Estimativas dos parâmetros β_1 , β_2 , β_3 e do ponto de inflexão (IP) para o parâmetro estatura de planta durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de <i>Lolium multiflorum</i> Lam. Expostas a diferentes condições hídricas do solo. Santa Maria – 2022 – RS.....	23
Tabela 2 – Estimativa do ponto de aceleração máxima (MAP), ponto de máxima desaceleração (MDP) e ponto de desaceleração assintótica (ADP) para o parâmetro estatura de planta durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de <i>Lolium multiflorum</i> Lam. Expostas a diferentes condições hídricas do solo. Santa Maria – 2022 – RS.....	25
Tabela 3 – Média dos resultados obtidos de estatura final de plantas (cm) e SOD (U mg-1 peso fresco) para cada fator (lâmina de água, 30% CRA e tratamento adicional) comparados entre si. Santa Maria – 2022.....	27
Tabela 4 – Teste de médias comparado as condições hídricas (lâmina de água, 30% CRA) dentro de cada período de exposição e teste de médias entre o tratamento adicional e fatorial para as variáveis Peróxidos de hidrogênio (H_2O_2 $\mu\text{mol g}^{-1}$ peso fresco) e Peroxidase (POD U mg-1 peso fresco) Santa Maria – 2022.....	28
Tabela 5 – Média da Produção de sementes de cada tratamento MSPA (massa seca de parte aérea em gramas), MSR (massa seca de raiz em gramas), sob diferentes condições hídricas e períodos de exposição a condição.....	31

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Porcentagem de massa seca (MS) da parte aérea do azevém cultivado sob diferentes condições hídricas e dias de exposição às mesmas e após aplicação de diferentes doses de glifosato.....	49
Tabela 2 – Porcentagem de massa seca (MS) da parte aérea do azevém cultivado sob diferentes condições hídricas e dias de exposição às mesmas e após aplicação de diferentes doses de letodim.....	52

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1- Regressão ajustada para Peróxido de hidrogênio (H_2O_2) dentro do fator períodos de exposição (5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de estresse) nas condições de Lâmina de água (a) e 30% CRA (b).....	29
Figura 2 - Regressão ajustada para guaiacol peroxidase (POD), dentro do fator períodos de exposição (5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de estresse) nas condições de Lâmina de água (a) e 30% CRA (b).....	30
Figura 3 - Regressão ajustada para massa seca de parte aérea (MSPA) coletada ao final do experimento, submetidas a 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de exposição as condições Lâmina de água (a) e 30% CRA (b).....	33

Figura 4 - Figura 4. Regressão ajustada para massa seca de raiz (MSR) coletada ao final do experimento, submetidas a 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de exposição as condições Lâmina de água (a) e 30% CRA (b).....	34
Figura 5 - Figura 5. Produção de sementes de azevém em gramas (Produção) avaliadas nos períodos de 5, 10, 15, 20 e 25 dias de exposição a condição hídrica. (a) Equação ajustada para condição de Lâmina de água; (b) Linha de representação média para condição de 30% CRA, para equação não ajustada.....	35

CAPÍTULO II

Figura 1 – Porcentagem de massa seca (MS) da parte aérea do azevém cultivado sob diferentes condições hídricas e dias de exposição às mesmas e após aplicação de diferentes doses de glifosato.....	49
Figura 2 – Porcentagem de massa seca do azevém cultivado sob seis períodos de exposição (0, 5, 10, 15, 20 e 25 dias) às condições hídricas de 30% CRA (a) e lâmina de água na superfície do solo (b), em diferentes doses do herbicida glifosato (0, 720, 1440 e 2880 g e.a. ha ⁻¹).....	51
Figura 3 – Porcentagem de massa seca do azevém cultivado sob diferentes períodos de exposição às condições hídricas de 30% CRA (a) e lâmina de água na superfície do solo (b), submetido à doses do herbicida cletodim (0.0, 60, 120 e 240 g i.a. ha ⁻¹).....	53
Figura 4 – Porcentagem de massa seca do azevém cultivado sob seis períodos de exposição (0, 5, 10, 15, 20 e 25 dias) às condições hídricas de 30% CRA (a) e lâmina de água na superfície do solo (b), em diferentes doses do herbicida cletodim (0, 60, 120 e 240 g i.a. ha ⁻¹).....	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
3	CAPÍTULO 1 - CRESCIMENTO, REPRODUÇÃO E METABOLISMO OXIDATIVO DE <i>Lolium multiflorum</i> Lam. SUBMETIDO A MOMENTOS DE CONDIÇÕES HÍDRICAS DO SOLO	16
	3.1 INTRODUÇÃO	17
	3.2 MATERIAL E METODOS	18
	3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
	3.4 CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36
4	CAPÍTULO 2 - CONTROLE QUÍMICO DE <i>Lolium multiflorum</i> Lam., QUANDO SUBMETIDO A VARIAÇÃO HÍDRICA DO SOLO POR DIFERENTES PERÍODOS	43
	4.1 INTRODUÇÃO	44
	4.2 MATERIAL E METODOS	45
	4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
	4.3.1 Experimento com glifosato	48
	4.3.2 Experimento com uso de cletodim	51
	4.4 CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	56
5	CONCLUSÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO GERAL

A espécie *Lolium multiflorum* Lam., conhecida popularmente no Brasil como azevém pertence à família Poaceae, a qual, contempla grande variabilidade de espécie adaptadas a diferentes ambientes (DE OLIVEIRA et al., 2019). Esta espécie possui ciclo anual, com plantas que variam de 30 a 90 centímetros de estatura e alto potencial de perfilhamento (LORENZI, 2014). Os colmos eretos são divididos por nós e entrenós em formato cilíndrico. Além disso, apresenta hábito cespitoso, que é composto por folhas finas e brilhosas, com lígula curta e aurículas amplexicaule, já sua inflorescência é constituída por duas fileiras de espiguetas (FONTANELI et al., 2009).

O azevém apresenta alto potencial infestante, pois suas sementes podem atingir até 0,4% de germinação após 7 anos armazenadas no solo (RAMPTON; CHING, 1970). Somado a isso, sua temperatura base de germinação é ampla e desse modo, permite o surgimento de plantas espontâneas durante todo período de temperaturas amenas (MÜLLER et al., 2009). Os principais impactos são encontrados em cultivos de inverno como trigo, triticale, aveia, canola, pomares, entre outras culturas de clima frio (VARGAS; BIANCHI, 2011). Também são relacionados efeitos alelopáticos sobre culturas sucessoras, principalmente em cultivos de milho de semeados em abertura de temporada (FABBRIS, 2019).

No Rio Grande do Sul a área agrícola é de cerca de 21,7 milhões de hectares sendo que aproximadamente 36% desta área é cultivada com lavouras permanentes ou temporárias e 42% ocupado com pastagens (IBGE, 2022). No Brasil cerca de 33 milhões de hectares possuem solos hidromórficos, os quais, frequentemente estão inundados (VIEIRA et al., 1999; TAVAREZ et al., 2017). De acordo com PINTO et al., (2004) 5,4 milhões destes solos estão localizados no Rio Grande do Sul e são utilizados para pastagens ou produção de arroz (CUNHA e COSTA, 2013).

Durante o período de inverno, estima-se que 877 mil hectares são cultivados com aveia, trigo, cevada, triticale e canola (CONAB, 2021), o restante da área é utilizado, em grande maioria, como pastagem de forma espontânea ou semeada (PETERSON et al., 2018). Uma das espécies dominantes neste cenário é o azevém (*Lolium multiflorum* Lam), a qual, apresenta altos níveis nutricionais e pode ser empregada para produção de feno, sementes, pastejo e ciclagem de nutrientes (PEREIRA et al., 2017; ARELLANO et al., 2021).

Destaca-se ainda, que grande parte das regiões cultivadas no mundo passarão a apresentar mudanças climáticas, intensificando a frequência de eventos extremos (IPCC, 2021). Dados apontam, que entre os anos de 1850 e 2015, houve um aumento de 0,8 °C na temperatura

média com projeção de aumento de 2°C até o ano de 2050 (RAHMSTORF, FOSTER e CAHILL, 2017; WUEBBLES et al., 2017). Além de superar estes desafios, estima-se que a produção de alimentos precisa ser aumentada em cerca de 70% para abastecimento da população (FAO, 2021). Fatores estes, que impõe maior vulnerabilidade a áreas agrícolas propensas a inundação ou déficit hídrico.

Ao se tratar de plantas daninhas, as alterações ambientais descritas para curto ou longo prazo, refletem diretamente em seleção de indivíduos, tornando-se complexas já que, raramente os estresses ocorrem de forma isolada e período previsto (MITTLER, 2006). A pressão do ambiente associada a práticas agrícolas proporciona plantas daninhas rústicas quando comparadas a plantas cultivadas. Isso se deve ao fato de que, além de serem capazes de produzir mais de uma geração em um ano agrícola, as culturas agrícolas são selecionadas apenas para maior produtividade, apresentando menor tolerância a competição (MATZRAFI; PRESTON; BRUNHARO, 2021). A seleção de plantas daninhas decorrente dos distúrbios, permite a sobrevivência apenas de indivíduos fortes, o quais, possuem base genética ampla recrutando constantemente novos alelos por hibridação (MIRYEGANEH e SAZE, 2020).

As condições de excesso ou déficit hídrico imediatamente desencadeiam uma série de reações na planta, que por sua vez, estão relacionadas a mecanismos de defesa para superação de estresse. A intensidade dos danos causados pelo estresse está associada ao período de duração, podendo retardar seu ciclo de crescimento ou levar a planta a morte (CZARNOCKA et al., 2018). Estes eventos comumente alteram a ação de herbicidas sobre as plantas daninhas. A redução de controle é associada a ativação enzimática e peroxidação de lipídios causada por espécies reativas de oxigênio. As espécies reativas de oxigênio rompem membranas celulares, evitando o movimento de herbicidas, ou até mesmo imobilizando os ativos com sua força de atração.

Dentro dos diferentes ecossistemas em que esta planta se desenvolve, pouco se sabe sobre sua biologia, o que muitas vezes provoca equívocos na comunidade técnica no que se refere a identificação e manejo, tendo em vista que, falhas de controle muitas vezes são atreladas a resistência. No entanto, esta pode ser uma resposta de adaptabilidade e naturalização ao ambiente, sendo proporcionada por diferentes condições hídricas em solos de coxilha (bem drenados) e solos de várzea (mal drenados). Este trabalho objetivou identificar a resposta de crescimento e controle químico de *Lolium multiflorum* Lam., sob diferentes condições hídricas do solo e períodos de exposição.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Poaceae (gramíneas) é a família com maior expressão em número de espécies no mundo, assim como no Brasil. Possui 793 gêneros com 10 mil espécies, sendo que no Brasil ocorrem 255 gêneros com 1486 espécies (WATSON; MACFARLENTE; DALLWITZ 1992). Dentro destes gêneros o *Lolium* apresenta como centro de origem o Sul da Europa, Ásia menor e norte da África sendo composto por 8 espécies, *L. perenne*, *L. rigidum*, *L. multiflorum*, *L. persicum*, *L. remotum*, *L. loliaceum*, *L. temulentum* e *L. canariense* (POLOK, 2007). Dentre estas espécies, as que ocorrem com mais frequência no Rio Grande do Sul são *Lolium multiflorum* e *Lolium perenne* (CALLOW, et al., 2000).

O *Lolium multiflorum* Lam (azevém) é uma planta que apresenta ciclo metabólico C3 e é morfologicamente conhecida por possuir folhas glabras com cerosidade e de ápice agudo, seu crescimento cespitoso é sustentado por colmos cilíndricos e sem pelo, possuindo sistema radicular fasciculado (FONTANELI; SANTOS; FONTANELI, 2012). O azevém pode ser estratificado quanto ao seu ciclo de vida, sendo anual ou perene. As plantas que produzem sementes e morrem até o verão são classificadas como anuais, enquanto que, as de ciclo perene se desenvolvem em regiões de clima temperado e permanecem vivas após a produção de sementes. No entanto, as plantas de ciclo perene apresentam alterações comportamentais quando são cultivadas no Brasil, de modo a encerrar o ciclo de vida após o período reprodutivo, comportando-se como planta anual (BESKOW, 2016).

O azevém apresenta dois tipos principais de germoplasma, estas características são determinadas pelo nível de ploidia. Os diploides (2n) são plantas de ciclo curto e médio, conhecidas como azevém comum, já os tetraploides (4n) foram desenvolvidos por melhoristas e possuem cromossomos duplicados. Além disso, podem ser obtidos por cruzamentos e apresentar ciclo médio longo (PEREIRA et al., 2012).

Esta espécie destaca-se também pelo grande número de áreas em que é utilizada como forragearia. Em maioria estas áreas estão inseridas em sistemas de cultivo que possuem rotação com trigo, cenário este que apresenta com frequência a problemática referente a dificuldade de controle, que podem ser estendidos a outros cereais de inverno (BORÉM; SCHEEREN, 2015; VARGAS; BIANCHI, 2011).

As áreas agrícolas do Rio Grande do Sul apresentam grande diversidade de relevos e solos. Estas variações proporcionam variabilidade de ambientes, quanto a disponibilidade hídrica. Solos de terras altas são predominantes nas regiões Norte do estado. Apresentam por característica boa drenagem, profundidade de perfil e alto nível de intemperismo, sendo as

classes de solos mais comuns os latossolos, argissolos, luvisolos, neossolos, cambissolos. Já os solos ao Sul apresentam relevos mais suaves, formando planícies com dificuldade de drenagem por possuírem características físicas que impedem o movimento da água. Estes locais de relevo suave apresentam baixo desnível, fator este que dificulta rápida drenagem e movimento da água, com as classes de solo com maior ocorrência, representados por: planossolos (EMBRAPA SOLOS, 2018).

Em ambos os cenários do estado do Rio Grande do Sul, em consequência de seu regime hídrico ser isoigro, são comuns os períodos de estiagem, decorrentes da má distribuição de chuvas proporcionando condições de estresse hídrico para os cultivos (BACK et al., 2020). Inevitavelmente a necessidade de controle de plantas daninhas interagem com este fator. A baixa disponibilidade hídrica compromete a eficiência de controle, a qual influencia negativamente na absorção, translocação e metabolismo (ABBOTT, 2006; BODNER et al., 2015).

O estresse por déficit hídrico pode desidratar a cutícula e reduz a absorção de herbicidas pela baixa permeabilidade da cutícula (DEUBER, 1992). Sob déficit hídrico, há fechamento de estômatos e menor condutância estomática (XIE et al., 2015), o que prejudica a absorção de CO₂ com redução nas taxas de fotossíntese. Forma-se oxigênio singleto e o consequente acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROS) que podem peroxidar as membranas do cloroplasto (ETESAMI et al., 2017). A ação de enzimas detoxificantes é aumentada em situações de estresse hídrico (TAIZ e ZEIGER, 2017) e pode afetar negativamente a ação de herbicidas com casos de baixa eficiência, como por exemplo: *Digitaria sanguinalis* que apresentou controle de apenas 8% em situação de baixa umidade, contra controle de 92% em condições ótimas de umidade (DICKSON et al., 1990).

O estresse por excesso hídrico do solo, ocorre com frequência em locais onde a drenagem é desfavorecida, podendo ser duradouro ou temporário, que por sua vez, ocasiona condições de hipóxia as raízes (STRECK et al., 2008). A falta de oxigênio é responsável por desencadear alteração no metabolismo celular, induzindo a redução na respiração (SILVA et al., 2011). A condição de hipóxia leva a planta a desencadear processos de aclimatação, reduzindo o acúmulo de biomassa, raiz, expansão foliar, caules e ramos, produzir aerênquimas, pneumatóforos e raízes adventícias, abscisão foliar e senescência, em função da redução de clorofila tanto por degradação como síntese (LIU, 2014).

A redução da taxa de fotossíntese das folhas está diretamente ligada a condutância estomática, o que proporciona redução na transpiração (RODRIGUES et al., 2019). Em

ambientes com baixa oxigenação do solo, espera-se redução na expansão foliar assim como na taxa de assimilação líquida de CO₂, determinando menor crescimento (DAVANSO et al., 2002; ALMEIDA et al., 2003). A resposta a falta de oxigênio induz a produção de espécies reativas de oxigênio (EROS), o que pode favorecer o controle das plantas daninhas (ISMAIL et al 2012; GEALY et al., 2014).

Nas plantas suscetíveis ao alagamento, em resposta ao estresse hídrico, parte do mecanismo de defesa é o fechamento estomático, como equilíbrio osmótico (ASHRAF, 2003). Os processos fisiológicos ligados ao estresse estão associados a distúrbios danosos na célula vegetal, que passa a utilizar rotas alternativas porém dispendiosas para a produção de energia. Desta forma, ocorre a redução na taxa fotossintética, determinada pelo fechamento estomático. Os processos danosos ligados a estas respostas são: acidificação citoplasmática, elevação Ca²⁺ citosólico, mudanças no potencial redox, decréscimo na barreira de membrana e produção de espécies reativas de oxigênio (BLOKHINA et al., 2003; FUKAO e BAILEY-SERRES, 2004). No entanto, estas espécies reativas de oxigênio são degradadas pelo sistema antioxidante da planta, que por sua vez, passa a estar com o metabolismo mais preparado para responder a ação de herbicidas (SHARMA et al., 2012).

Dentro destes ambientes, as plantas precisam se adaptar por estarem suscetíveis a baixa disponibilidade hídrica ou períodos de excesso hídrico. Considerando que grandes partes destas áreas estão inseridas em sistemas agrícolas de produção, a cultura do azevém tem sido encontrada de forma recorrente como planta de difícil controle. Estes aspectos podem ser confundidos pela comunidade técnica por resistência.

3 CAPÍTULO 1 - CRESCIMENTO, REPRODUÇÃO E METABOLISMO OXIDATIVO DE *Lolium multiflorum* Lam. SUBMETIDO A MOMENTOS DE CONDIÇÕES HÍDRICAS DO SOLO

RESUMO

A espécie *Lolium multiflorum* Lam. habita distintos ambientes e é conhecida por sua plasticidade morfofisiológica precursora de sua adaptação. Este trabalho objetiva avaliar o desenvolvimento e estresse oxidativo daquela espécie quando submetida a condições de alagamento e déficit hídrico por distintos períodos de exposição. Foi conduzido experimento em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em um fatorial 2x6+1. O fator A testou as condições de umidade do solo lâmina de água de 5 centímetros, e 30% da capacidade de retenção de água no solo (CRA); e o fator B os períodos de exposição, sendo os mesmos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias. O tratamento adicional constou do tratamento controle definido como 80% da CRA. As unidades experimentais constaram de vasos contendo 11 kg de solo do tipo Argissolo Distrófico Arênico com três plantas de azevém por vaso. Os tratamentos foram implementados quando as plantas estavam em pleno perfilhamento, e após cada período de exposição a umidade foi corrigida para 80% da CRA. Avaliaram-se estatura a cada cinco dias durante todo ciclo de desenvolvimento, massa seca de parte aérea e de raiz e produção de sementes ao final do experimento. Ao atingir os respectivos períodos de exposição realizou-se a coleta de material vegetal para análise enzimática, superóxido dismutase (SOD), peroxidases (POD) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂). O modelo logístico não linear permitiu identificar que a estatura é alterada quando submetida a diferentes períodos hídricos, havendo redução para os parâmetros avaliados quando o azevém foi cultivado sob lâmina de água. As variáveis massa seca de parte aérea e de raiz e estatura final também responderam significativamente aos períodos de estresse sendo igualmente danoso ao crescimento, tanto lâmina de água como 30% de CRA. Em contrapartida a atividade enzimática SOD e POD foi maior para ambas condições hídricas. O tratamento adicional demonstrou de forma eficiente que os efeitos de estresse foram prejudiciais ao crescimento de azevém. Durante o período em que ocorreu o estresse hídrico as plantas foram mais afetadas sob condição de déficit hídrico, a qual apresentou maior produção de peróxidos de hidrogênio, evidenciando a adaptação de azevém ao alagamento, no entanto após a remoção do estresse hídrico houve maior velocidade de recuperação para as plantas cultivadas em 30%.

Palavras-Chave: Atividade enzimática, estresse hídrico, tolerância.

3.1 INTRODUÇÃO

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) pertence à família Poaceae a qual possui grande variabilidade de espécies com adaptação a diferentes ambientes, devido sua rusticidade em suportar elevadas variações no clima (DE OLIVEIRA et al., 2019; BOND et al., 2014). O gênero *Lolium* é constituído por oito espécies onde quatro são autógamas (*L. temulentum*, *L. remotum*, *L. persicum* e *L. loliaceum*), três são alogamas (*L. multiflorum*, *L. perenne* e *L. rigidum*) e *L. canariense* apresenta ambos tipos de polinização (POLOCK et al 2007). A espécie apresenta metabolismo fotossintético tipo C3, ciclo anual, com plantas variando de 30 a 90 centímetros de estatura e alto potencial de perfilhamento (LORENZI, 2014). Possui colmos eretos com nós e entrenós em formato cilíndrico. Seu hábito cespitoso, é composto por folhas finas e brilhosas, com lígula curta e aurículas amplexicaule, além disso sua inflorescência é composta por duas fileiras de espiguetas (FONTANELI; SANTOS; FONTANELI, 2012).

A espécie possui alto valor nutritivo o que foi um atrativo para sua difusão pela Austrália, Nova Zelândia, América do Norte e América do Sul pois esta é uma espécie com centro de origem na Europa, Ásia temperada e norte da África (HUMPHREYS et al., 2010; USDA 2022). O processo de domesticação selecionou plantas com maior tolerância ao frio e ao calor objetivando abranger maiores períodos de pastejo. Associado a isso, inevitavelmente houve a exposição a ambientes com características extremas de déficit e excesso hídrico por longos períodos, o que favoreceu a seleção de plantas mais rústicas e competidoras São relatados vários casos de ocorrência de azevém em ambientes não desejados como lavouras produtoras de grão e pomares (MATZRAFI; PRESTON; BRUNHARO, 2021).

Suas sementes não são capazes de permanecer no solo de forma longa, com período médio de cinco anos, no entanto a capacidade de viabilizar estas sementes está associado a um amplo período de germinação que pode se estender de março a novembro para o sul do Brasil (GALVAN et al., 2015). Durante o período de ocorrência do azevém são registradas historicamente inúmeras variações climáticas, as quais podem apresentar temperaturas mínimas e máximas absolutas de -8°C a 41,4°C o que ocorre da mesma forma com regime pluviométrico, com distribuição de chuvas irregulares, atingindo acúmulos mínimos de 0,3mm a 551,8mm por mês (INMET 2022). A desuniformidade nas chuvas provoca variações extremas na capacidade de armazenamento de água do solo, o que proporciona frequentemente déficit hídrico ou alagamento, com formação de lâmina de água por períodos duradouros.

A água na planta desempenha papel vital, proporcionando o início da germinação de uma semente, evoluindo para processos mais complexos. A água no solo é responsável por

carrear alguns dos principais nutrientes para o desenvolvimento da planta, enquanto que sua disponibilidade é regulatória para o desenvolvimento da planta (MANCUSO, 2019). Água em escassez limita processos metabólicos que vão desde a absorção de CO₂ até processos mais complexos como a divisão de DNA e RNA. Da mesma forma o excesso de água no solo é limitante para o desenvolvimento da planta, impedindo a absorção de CO₂ pelas raízes o que desencadeia uma série de reações em resposta ao estresse como produção espécies reativas de oxigênio (EROs) estas reações acarretam em custo energético e podem provocar efeitos deletérios na planta que não seja adaptada (TAIZ; ZEIGER, 2016).

Ainda são desconhecidos em totalidade quais são os efeitos do déficit e excesso hídrico sobre o crescimento e desenvolvimento de azevém, mesmo que estes sejam tão recorrentes (DE FREITAS et al., 2003). O que se sabe é que há uma plasticidade, ou seja, capacidade da espécie adaptar-se ao ambiente. No entanto, frente a períodos distintos de exposição a oscilação hídrica, quantificar seus impactos e repercussão no desenvolvimento da planta, são de extrema importância para elucidar os aspectos morfológicos pronunciados no que se refere a condições de escassez ou excesso hídrico. Sobretudo, utilizar modelos não lineares logísticos de crescimento das plantas, expostas a diferentes períodos de variação hídrica, podem permitir identificar características inerentes à fisiologia de desenvolvimento das mesmas (SILVA et al., 2000). O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento e estresse oxidativo em plantas de azevém quando submetida a condições de alagamento e déficit hídrico por distintos períodos de exposição.

3.2 MATERIAL E METODOS

O presente experimento foi conduzido em casa de vegetação, situada no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, no período de março a setembro de 2021. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os vasos, contendo três plantas de azevém cada, foram rotacionados durante a condução do experimento com frequência diária. As unidades experimentais constituíram-se de vasos contendo 11 kg de solo peneirado do tipo Argissolo Distrófico Arênico com fertilidade corrigida seguindo recomendação para pastagens, e com base no resultado de análise de solo as quais foram: pH em água (1:1) = 5,74; matéria orgânica = 1,7%; P = 8,3 mg dm⁻³; K = 0,569 cmol_c dm⁻³; Ca = 2,4 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,1 cmol_c dm⁻³; H + Al = 2,1 cmol_c dm⁻³; CTC efetiva = 4,1 cmol_c dm⁻³; Saturação Bases = 65,5%; total de areia 40,32 Kg kg⁻¹; silte: 42,23 kg kg⁻¹; argila: 17,45 kg kg⁻¹.

Os tratamentos foram arrançados em um fatorial $2 \times 6 + 1$, cujo fator A correspondeu a duas condições hídricas do solo: 30% da capacidade de retenção de água no solo (CRA) e lâmina d'água (5,0 cm). O Fator B correspondeu a sete períodos distintos de condição hídrica, sendo eles 30, 25, 20, 15, 10, 5 dias, mais o tratamento adicional com 80% CRA do solo, considerado o tratamento controle. A CRA do solo foi determinada pelo método proposto por SCHWAB (2011). Para tanto o solo foi seco em estufa a 70°C até manter massa constante, quando então foram colocados 10,5 kg de solo em vaso de massa conhecida contendo orifícios na base. Desse modo, o solo foi saturado com água e depois foi exposto à percolação da água, sendo pesado até obter massa constante. Considerando-se que a massa específica da água seja de 1000 kg m^{-3} ou 1 kg L^{-1} , determinou-se 100% da capacidade de retenção de água através da diferença de peso do vaso com solo seco em que deixou-se drenar a água livre. Para determinar as condições de 30% e 80% foram utilizadas as seguintes formulas (SCHWAB 2011):

$$PV80\% = (PVCRA - PVseco). 0,8 + PVseco \quad (1)$$

$$PV30\% = (PVCRA - PVseco). 0,3 + PVseco \quad (2)$$

Sendo $PV_n\%$ o peso do vaso para cada tratamento; $PVCRA$ o peso do vaso em 100% CRA do solo; $PVseco$ o valor do vaso preenchido com solo seco.

A semeadura do azevém foi realizada dia 07/05/2021 contando com o auxílio de um disco gabarito proporcionando equidistância entre as 3 plantas utilizadas em cada unidade experimental. Após a germinação realizou-se o desbaste para obter a população de três plantas estabelecidas por vaso. O biótipo utilizado no experimento foi oriundo da cidade de Dom Pedrito - RS ($30^\circ 52' 8.61'' \text{S}$, $54^\circ 56' 4.20'' \text{O}$, e altitude 320m). Os períodos de exposição hídrica foram adicionados a partir do momento em que as plantas atingiram pleno perfilhamento, aos 35 dias após a germinação, proporcionando períodos de estresse hídrico. A partir do momento em que as condições hídricas foram estabelecidas realizou-se duas pesagens por dia, com o objetivo de mantê-las constantes, para isto utilizou-se uma balança ACS system com precisão de 5 g, adicionando água até alcançar o valor pré-determinado. Passado o período de exposição à condição hídrica do tratamento, a umidade do solo era reestabelecida para 80% da CRA até o final do experimento.

As avaliações de estatura de planta (cm) foram aferidas a cada cinco dias após a germinação completa até o final do ciclo, para isso contou-se com auxílio de régua milimetrada, tomando-se o comprimento da planta desde o solo até o ápice, com o limbo foliar distendido.

Ao término do ciclo utilizando do mesmo procedimento realizou-se a avaliação de estatura final.

As avaliações enzimáticas foram realizadas aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias após o estabelecimento da condição hídrica, correspondendo aos períodos de estresse propostos. Foram coletadas 10 g de tecido vegetal por planta, respeitando o padrão de coleta a folhas jovens, compreendendo o intervalo entre a última folha em formação e a penúltima folha completamente formada. Imediatamente após a coleta o material era armazenado em nitrogênio líquido para as avaliações de atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e guaiacol peroxidase (POD). Para extração enzimática foi macerado em nitrogênio líquido 5 gramas de amostra de folha coletada. A SOD foi avaliada de acordo com a capacidade de inibição da foto redução do azul de nitrotetrazólio (NBT) a 560 nm em meio de reação contendo tampão de fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8), metionina 14 mM, EDTA 0,1 μ M, NBT 75 μ M e riboflavina 2 μ M conforme Giannopolitis e Ries (1977). A unidade de atividade da SOD é definida como a quantidade de enzima que produz uma inibição de 50% da redução fotoquímica do NBT.

Para a determinação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), foram utilizados 2 g de tecido congelado, sendo homogeneizados com 5 mL de acetona pura, sendo posteriormente arrefecida e centrifugada a 10.000 giros durante 20 minutos a 4°C. O sobrenadante foi coletado para análise de H_2O_2 por um método baseado em oxidação de titânio (PATTERSON et al., 1984). O extrato de acetona (sobrenadante) foi misturado com ácido clorídrico contendo 200 mL L^{-1} de $TiCl_4$ e uma solução de amônia de 17 mol L^{-1} . O precipitado foi lavado com acetona e dissolvido em 2 mol L^{-1} de ácido sulfúrico. Após foi realizada a medição espectrofotométrica a 410 nm. A concentração de H_2O_2 foi determinada a partir de uma curva padrão (de 5 a 1 mmol L^{-1} H_2O_2 , construído por adição direta de H_2O_2 à solução de titânio) e expressa como nmol g^{-1} .

Ao término do experimento avaliou-se massa seca de parte de raízes e aérea (g) as quais foram lavadas e secas em estufa de ar forçado até manter massa constante e pesadas com balança analítica de precisão. Também foram avaliados a produção de sementes, ao término do experimento, quando ocorreu a maturidade completa das plantas. Coletou-se as sementes de cada planta da unidade experimental, as quais foram debulhadas manualmente e pesadas em balança analítica de precisão com posterior ajuste da umidade para 13%.

As avaliações de estatura, foram analisadas por meio de modelo não linear logístico parametrizado pela expressão $Y_j = \frac{\beta_1}{(1 + \exp^{\beta_3(\beta_2 - t_j)})} + \varepsilon_j$, em que, Y_j é a variável dependente

(estatura de planta, cm) no tempo (dias após emergência); t_j é o tempo (dias após emergência); o valor de β_1 representa a assíntota ou estatura máxima atingida pelas plantas (cm); β_2 é o valor da abcissa no ponto de inflexão e β_3 está relacionado com a taxa de crescimento, ou seja, quanto maior for este valor, mais rápido a estatura atingirá a sua assíntota (Mischán e Pinho, 2014).

Em modelos de regressão não lineares é necessário o uso de métodos iterativos para obtenção da aproximação de estimativas dos parâmetros. Para obter tais estimativas foi utilizado o método dos mínimos quadrados ordinários através do algoritmo de Gauss-Newton. Esta etapa foi realizada através da função *nls* e os valores iniciais obtidos por meio da função *manipulate* (Allaire, 2014), utilizando o software R (R Core Team, 2020).

A normalidade, heterocedasticidade e independência dos resíduos foram testadas pelos métodos de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965), Breusch-Pagan (Breusch e Pagan, 1979) e Durbin-Watson (Durbin e Watson, 1950), respectivamente. Foi observado que estes pressupostos não foram atendidos e, então, estimaram-se intervalos de confiança a partir da reamostragem *bootstrap*, com 10.000 reamostragens onde, nesta metodologia, os parâmetros são distribuídos de forma empírica. A reamostragem *bootstrap* foi realizada pela função *nlstools* do pacote *nlstool* no software R (Baty et al., 2015)

Foram calculadas as coordenadas dos pontos críticos do modelo com melhor ajuste. Esses pontos críticos são o ponto de aceleração máxima (MAP), ponto de inflexão (IP), ponto de desaceleração máxima (MDP) e o ponto de máxima desaceleração assintótica (ADP). As coordenadas dos pontos críticos foram calculadas a partir das derivadas parciais do modelo selecionada em relação a variável independente dias após emergência (DAE).

O IP foi obtido igualando a derivada de segunda ordem a zero, MAP e MDP tiveram sua derivada de terceira ordem igualada a zero e o ADP foi calculado igualando a derivada de quarta ordem a zero (MISCHAN al., 2011). As derivadas parciais de segunda, terceira e quarta ordem são respectivamente $\frac{d^2 y(t)}{d t^2} = 0$; $\frac{d^3 y(t)}{d t^3} = 0$; $\frac{d^4 y(t)}{d t^4} = 0$ (MISCHAN; PINHO; CARVALHO, 2011).

As variáveis estatura final, SOD, POD, H₂O₂, massa seca de raiz, massa seca de parte aérea e produção de sementes foram, de forma separada, analisadas quanto a aderência dos resíduos a distribuição normal e a homogeneidade das variâncias residuais, por meio dos testes de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$) e Bartlett ($p < 0.05$). Para os casos em que ocorreu violação dos pressupostos, foram procedidas transformações de dados por meio da família Box-cox (Box e Cox 1964). Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para

determinar os possíveis efeitos principais dos fatores e interação. Quando verificado efeito significativo pelo teste F ($p < 0.05$), foram procedidas as devidas análises complementares, sendo aplicado o teste de Scott Knott ($p < 0.05$) para o fator qualitativo e ajustadas as regressões para o fator quantitativo. As análises foram realizadas e os gráficos confeccionados com o auxílio do software R (R core Team, 2019), utilizando os pacotes *ExpDes* (Ferreira et al., 2021), *MASS* (VENABLES e RIPLEY, 2002), *ggplot2* (WICKHAM, 2016) e *cowplot* (WILKE, 2020).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância houve interação significativa para condições hídricas (30% capacidade de retenção de água, lâmina de água e 80% de capacidade de retenção de água) \times Períodos de exposição (5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de duração), para as variáveis produção de sementes, massa seca de parte aérea, massa seca de raiz, peróxidos de hidrogênio (H_2O_2) e guaiacol peroxidase (POD), enquanto que para as demais variáveis fez-se necessário estudar os efeitos principais. Para a variável estatura final de planta foi verificado efeito significativo de condições hídricas e períodos de exposição as condições hídricas. Para superóxido dismutase (SOD) foi observado apenas efeito significativo do fator condições hídricas. A ANOVA evidenciou também efeito significativo do tratamento adicional \times fatorial para todas as variáveis.

Os resultados de estatura da planta ajustados para o modelo logístico não linear durante o ciclo de desenvolvimento de azevém, sob diferentes condições de umidade do solo por diferentes períodos, apresentaram variações entre os tratamentos para cada parâmetro observado. Os intervalos de confiança são interpretados para cada tratamento e são comparados entre si, os quais diferem estatisticamente somente quando os intervalos de confiança não se sobrepõem.

O parâmetro β_1 é a representação do valor máximo atingido para a variável analisada (MISCHAN et al., 2011), o que foi interpretado como estatura máxima no presente trabalho. A condição ideal de desenvolvimento, contemplada pelo tratamento 80% CRA do solo, obteve o maior valor geral de β_1 , sendo inferior apenas ao tratamento 30% CRA por 30 dias de exposição (Tabela 1). Os tratamentos com 5, 10, 15, 20 e 25 dias de exposição a condição de 30% de CRA atingiram estatura máxima superior aos tratamentos com 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de exposição a condição de lâmina de água. Com base nos dados é possível inferir que a

condição de lâmina de água afeta negativamente a estatura máxima de azevém independente do período de exposição quando comparada ao tratamento déficit hídrico (30% CRA).

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros β_1 , β_2 , β_3 e do ponto de inflexão (IP) para o parâmetro estatura de planta durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de *Lolium multiflorum* Lam. Expostas a diferentes condições hídricas do solo. Santa Maria – 2022 – RS.

Tratamento	β_1	(IC) ²	β_2	(IC)	β_3	(IC)	IP	(IC)
5 dias lâmina d'água	76.05	74-78	51.64	49-54	0.035	0.032-0.038	51.64	49-54
10 dias lâmina d'água	81.57	79-84	52.17	50-55	0.036	0.033-0.039	52.17	50-55
15 dias lâmina d'água	85.6	84-87	51.61	50-54	0.038	0.035-0.040	51.61	50-54
20 dias lâmina d'água	80.96	79-83	51.23	49-54	0.036	0.034-0.039	51.23	49-54
25 dias lâmina d'água	79.7	78-81	51.04	49-53	0.038	0.035-0.040	51.04	49-53
30 dias lâmina d'água	82.43	81-84	50.96	49-53	0.039	0.036-0.042	50.96	49-53
5 dias 30% CRA	99.64	96-104	65.43	62-69	0.035	0.032-0.038	65.43	62-69
10 dias 30% CRA	88.41	85-92	61.03	58-64	0.035	0.032-0.037	61.03	58-64
15 dias 30% CRA	89.51	87-93	60.4	57-64	0.035	0.032-0.038	60.4	57-64
20 dias 30% CRA	89.8	87-93	56.66	54-60	0.037	0.034-0.040	56.66	54-60
25 dias 30% CRA	86.21	84-88	54.92	53-57	0.038	0.035-0.040	54.92	53-57
30 dias 30% CRA	89.16	88-91	54.92	54-56	0.04	0.038-0.042	54.92	54-56
80% CRA	90.55	89-92	49.86	48-51	0.042	0.040-0.045	49.86	48-51

¹CRA: capacidade de retenção de água no solo

² Intervalo de confiança do parâmetro ($p \leq 0,05$)

Estudo conduzido por FREITAS et al (2003), onde se avaliou dissimilaridade genética entre biótipos de azevém, observou-se que 96% das plantas cultivadas em condição de lâmina de água de 5 cm, obtiveram estatura máxima superior as plantas cultivadas em condição de irrigação diária. A divergência entre os resultados encontrados pelo autor e o presente trabalho, para o parâmetro β_1 (Tabela 1), podem ser explicadas pela diferença genética do material estudado e pela metodologia de condução do experimento, onde o volume de solo utilizado no estudo citado pode ter limitado o desenvolvimento das plantas cultivadas apenas com irrigação diária.

O β_2 é um parâmetro de posição no modelo ajustado no presente estudo e indica a média da distância entre o valor inicial e a assíntota, além disso, foi interpretado como medida de precocidade produtiva por Diel et al., (2019) em estudos para a cultura do morangueiro. O fator lâmina de água, independente do período de exposição, obteve β_2 semelhante dentro do mesmo intervalo de confiança para a condição de 80% de CRA do solo e ambos inferiores à condição de déficit hídrico (30% de CRA do solo), independente do período de exposição. Estes resultados indicam a semelhança de crescimento entre a condição de lâmina de água e

condição de 80% de CRA do solo durante os períodos iniciais da adição dos fatores, ou seja, há uma alta adaptabilidade de azevém de desenvolver-se em condição de excesso hídrico.

A resposta ao estresse hídrico por condição de déficit rapidamente paralisa o crescimento, enquanto que a condição de lâmina de água não é significativa podendo ser analisada por β_2 , conforme apresentado na Tabela 2, onde os valores encontrados para lâmina de água estão muito próximos dos valores encontrados para condição ideal de desenvolvimento. Apesar dos valores de β_2 indicarem crescimento mais rápido para os períodos de exposição a condição de lâmina de água, o ADP é maior para a condição de 30% CRA, ou seja, as plantas sob déficit hídrico permaneceram por mais tempo em crescimento. Apenas os tratamentos com 20, 25 e 30 dias de exposição a condição de 30% CRA do solo apresentaram valor de β_2 estatisticamente superior aos demais tratamentos, no entanto todos tratamentos expostos a esta condição apresentaram valores superiores de β_2 , de forma gradativa, a medida que aumentavam os dias de duração, o que elucida uma duração maior do período crescimento para estes tratamentos quando comparado com as demais condições hídricas. Além disso, este evento pode estar associado ao fato de que para condição de 30% CRA do solo e 80% CRA do solo os valores de β_1 foram superiores, aumento a distância entre a posição média entre o início do crescimento e a assíntota.

No entanto após o reestabelecimento das condições ideais de desenvolvimento (80% CRA), independente do período de duração, os tratamentos que foram expostos a 30% de CRA apresentaram maiores valores de β_2 , maiores valores de IP (Tabela 1) e maiores MAP e MDP (Tabela 2) o que permite inferir que os tratamentos com lâmina de água induziram as plantas a crescer mais precocemente, no entanto por menos tempo.

Tabela 2. Estimativa do ponto de aceleração máxima (MAP), ponto de máxima desaceleração (MDP) e ponto de desaceleração assintótica (ADP) para o parâmetro estatura de planta durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de *Lolium multiflorum* Lam. Expostas a diferentes condições hídricas do solo. Santa Maria – 2022 – RS.

Tratamento	MAP	(IC) ²	MDP	(IC)	ADP	(IC)
5 dias lâmina d'água	13.57	11-16	89.72	85-95	117.92	111-12
10 dias lâmina d'água	15.46	13-18	88.87	84-94	116.06	109-12
15 dias lâmina d'água	16.67	15-19	86.56	83-90	112.44	108-11
20 dias lâmina d'água	14.73	13-17	87.74	84-92	114.78	109-12
25 dias lâmina d'água	16.02	14-18	86.06	82-90	112,78	107-11
30 dias lâmina d'água	17.36	15-19	84.56	81-89	109.44	104-11
5 dias 30% CRA	27.71	25-30	103.16	98-109	131.10	124-13
10 dias 30% CRA	22.80	20-25	99.27	94-105	127.59	120-13
15 dias 30% CRA	22.39	20-25	98.4	93-104	126.54	119-13
20 dias 30% CRA	21.13	19-24	92.19	87-98	118.50	111-12
25 dias 30% CRA	19.79	18-22	90.04	86-94	116.06	110-12
30 dias 30% CRA	21.73	20-23	88.12	86-91	112.71	109-11
80% CRA	18.74	17-21	80.98	78-84	104.02	100-10

¹CRA: capacidade de retenção de água no solo

² Intervalo de confiança do parâmetro ($p \leq 0,05$)

A taxa de crescimento é identificada como β_3 e é resultado de uma equação diferencial. Em termos biológicos representa a taxa crescimento (MICHAN et al., 2011). Em análise aos dados do presente estudo é possível inferir que as condições hídricas de 30%CRA do solo e lâmina de água apresentaram valores homogêneos, próximos entre si para esta variável. Apesar disso é possível constatar que quanto maior o período de exposição das plantas aos fatores de estresse hídrico menores são os valores de β_3 . Em contraste o tratamento em condição ideal de desenvolvimento com 80%CRA do solo obteve maior valor de β_3 .

O IP corresponde ao momento em que o tratamento apresenta o seu crescimento máximo, estando desta forma no vértice da assíntota (SARI et al 2018). A condição de 80% CRA (umidade ideal de desenvolvimento) obteve o menor valor de IP, estando este muito próxima aos resultados encontrados para lâmina de água a qual apresentou variação dentro do mesmo intervalo de confiança. Na condição de 30% de CRA do solo os resultados encontrados foram superiores ao demais tratamentos de forma que a medida que o período de exposição a condição hídrica se estendeu o ponto de inflexão foi superior, partindo de 54,93 para 5 dias de exposição ao estresse até o valor máximo de 65,33 para 30 dias de exposição ao fator de estresse.

Analisando a função de crescimento, o parâmetro MAP, conforme apresentado na Tabela 2, em sua fase positiva expressa o momento em que houve máxima aceleração de

crescimento, uma vez que o parâmetro analisado é a estatura. O ponto de máxima aceleração apresenta diferentes resposta para cada condição hídrica e seus respectivos tempos de duração. A condição de lâmina de água apresenta valores de MAP inferior aos tratamentos com 30% de CRA e 80% CRA. Quanto maior o período de exposição a Lâmina de água menores os valores de MAP, enquanto que na condição de 30% de CRA quando maior o período de exposição a condição, maiores são os valores de MAP. O tratamento com 80% CRA apresentou valo intermediário a ambas condições de estresse. Apesar destes valores possuem estas tendências, houve resposta significativa apenas para 20, 25 e 30 dias de exposição ao fator.

O MDP foi interpretado por Lúcio, Diel e Sari (2021) como a lentidão na produção inicial para produtividade de plantas com colheita múltipla. É observado na Tabela 2 que o MDP acontece mais precocemente para a condição de 80% CRA, seguida pelas condições de lâmina de água as quais são ligeiramente inferiores, no entanto bastante semelhante a condição de 30% CRA. Os maiores valores são observados para períodos de 30 dias de estresse hídrico. Desta forma é evidente que o a condição de lâmina de água proporciona um adiantamento na desaceleração do crescimento, que se dá em função das menores estaturas atingidas pelas plantas com exposição a lâmina de água.

A variável ADP indica em que período passa ocorrer incremento não significativo no crescimento. Analisando a Tabela 2 para ambos fatores, 30% CRA e lâmina de água o incremento passou a não ser significativo mais tardiamente, podendo ser interpretado como um atraso no crescimento.

Nas condições em que ocorreu o experimento as variáveis analisadas (Tabela 1 e 2) permitem inferir que quando as plantas de azevém foram submetidas a períodos de exposição a lâmina de água foram obtidos menores estaturas máximas (β_1). No entanto, submeter as plantas a lâmina de água proporciona menor impacto imediato de crescimento quando comparado a condição de 30% CRA, o que foi explicado por β_2 . Sari et al. 2019 observou que quanto menor os valores de β_2 , menores são os valores do ponto de inflexão, e antes ocorre os pontos de máxima aceleração e máxima desaceleração.

A Tabela 3 contém os resultados médios para estatura final de planta e SOD, onde foram avaliadas quanto ao efeito principal entre os fatores e desdobrados quanto a significância das médias entre as condições hídricas e o tratamento adicional. Analisando a Tabela 3 é possível inferir que para a variável Estatura final de planta a condição de Lâmina de água proporcionou os menores resultados médios sendo inferior à condição de 30% CRA (significativo pelo teste

de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro). É possível inferir que a média dos tratamentos submetido ao estresse (30% CRA e Lâmina de água) foi estatisticamente inferior ao tratamento adicional (80% CRA), ao serem comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro (TIAN et al., 2021)

Para a variável SOD os efeitos entre as médias dos fatores foram significativos (Tabela 3) pois o fator Lâmina de água foi estatisticamente superior a 5% de probabilidade de erro para a variável. Ao analisar o efeito entre as médias do tratamento adicional (80% CRA) e o fatorial é possível inferir que as maiores médias de SOD foram obtidas pelo fatorial. A tolerância a condição de déficit e excesso hídrico estão fortemente associadas a eficiência antioxidante, havendo aumentos significativos para produção enzimática quando as plantas foram submetidas ao fator estressor (CHOUDHURY et al., 2017; AUGUSTYNIAK et al., 2020).

Tabela 3: Média dos resultados obtidos de estatura final de plantas (cm) e SOD (U mg⁻¹ peso fresco) para cada fator (lâmina de água, 30% CRA e tratamento adicional) comparados entre si. Santa Maria – 2022.

Condição hídrica	Estatura	SOD
Lâmina de água	76,85 b	129,41 a
30% CRA	82,82 a	105,04 b
Adicional	86,14 A	98,79 B
Fatorial	79,84 B	117,23 A

Médias não seguidas pelas mesmas letras na coluna, minúsculo fator condição hídrica dentro dos períodos de exposição as condições hídricas, e maiúscula entre adicional e fatorial, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em 0,05 de probabilidade de erro.

H₂O₂ e POD foram as variáveis fisiológicas com efeito significativo para interação, estando representadas na Tabela 4, quanto a comparação pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro entre as diferentes condições hídricas. As enzimas antioxidantes SOD e POD atuam como sistemas de proteção contra eventos estressores, revertendo os danos causados pela produção de radical superóxido, radical hidroxil e peróxido de hidrogênio (VAN DOORN et al., 2014; DA SILVA et al. 2020). As condições de umidade do solo apresentam médias idênticas entre si aos 5 e 10 dias de condição para os fatores lâmina de água e 30% CRA para as variáveis peróxidos e POD. Aos 15 dias de exposição aos fatores ambas variáveis apresentaram maior expressão na condição de lâmina de água, com médias estatisticamente superior pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Destaca-se que para ambas variáveis, H_2O_2 e POD a condição de 80% CRA (tratamento adicional) foi estatisticamente inferior pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro (Tabela 4). As condições de estresse (déficit hídrico e lâmina de água) proporcionaram maior expressão enzimática (GALLIE, 2013).

Tabela 4. Teste de médias comparado as condições hídricas (lâmina de água, 30% CRA) dentro de cada período de exposição e teste de médias entre o tratamento adicional e fatorial para as variáveis Peróxidos de hidrogênio (H_2O_2 $\mu\text{mol g}^{-1}$ peso fresco) e Peroxidase (POD U mg^{-1} peso fresco) Santa Maria – 2022.

Períodos de exposição	H2O2		POD	
	Lâmina ³	30% CRA ²	Lâmina	30% CRA
5	0.24 a ¹	0.31 a	6.89 a	8.47 a
10	0.58 a	0.38 a	9.65 a	9.61 a
15	0.69 a	0.47 b	11.07 a	6.39 b
20	0.91 a	0.5 b	5.71 a	9.15 a
25	0.51 b	1.19 a	7.89 b	11.05 a
30	0.73 b	1.39 a	10.92 a	6.64 b
Adicional⁴	0.28 B		6.15 B	
Fatorial	0.66 A		8.62 A	

¹Médias não seguidas pelas mesmas letras minúscula, na linha, diferem para fator condição hídrica dentro dos períodos de exposição as condições hídricas, e maiúscula entre adicional e fatorial, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em 0,05 de probabilidade de erro.

²CRA - Capacidade de retenção de água do solo.

³Lâmina: Lâmina de água de 5 centímetros.

⁴Adicional: condição de 80% de capacidade de retenção de água no solo.

A produção de H_2O_2 pode ser descrita por uma equação do terceiro grau quando analisada durante os dias de exposição a lâmina de água (Figura 1a). Conforme se apresenta na Figura 1a os períodos iniciais constituem baixa produção de peróxidos, atingindo produção máxima aos 20 dias. O intervalo entre 20 e 25 dias representa significativa redução para peróxidos, no entanto aos 30 dias novamente ocorre um aumento.

Em condição de déficit hídrico a produção de H_2O_2 ao longo dos períodos de exposição pode ser decomposta por uma equação quadrática (Figura 1b). A produção de H_2O_2 em déficit hídrico ocorre de forma mais lenta quando compara a condição de lâmina de água. A Figura 1b ilustra a condição de agravamento, da condição de déficit hídrico, onde aos 5, 10, 15 e 20 dias de condição hídrica, o incremento em produção de peróxidos é pouco significativo. À medida que os períodos se estendem este ganha comportamento exponencial atingindo pico de produção aos 30 dias estes resultados também foram encontrados por Schneider et al., 2019 quando estudava estresse hídrico na cultura da soja.

Para a variável peróxido a condição lâmina os pontos de inflexão (mínima e máxima) foram verificados aos 27 e 36 dias de exposição as condições hídricas. Para a condição de 30% CRA foi verificado o ponto de inflexão (ponto de mínima) aos 12 dias.

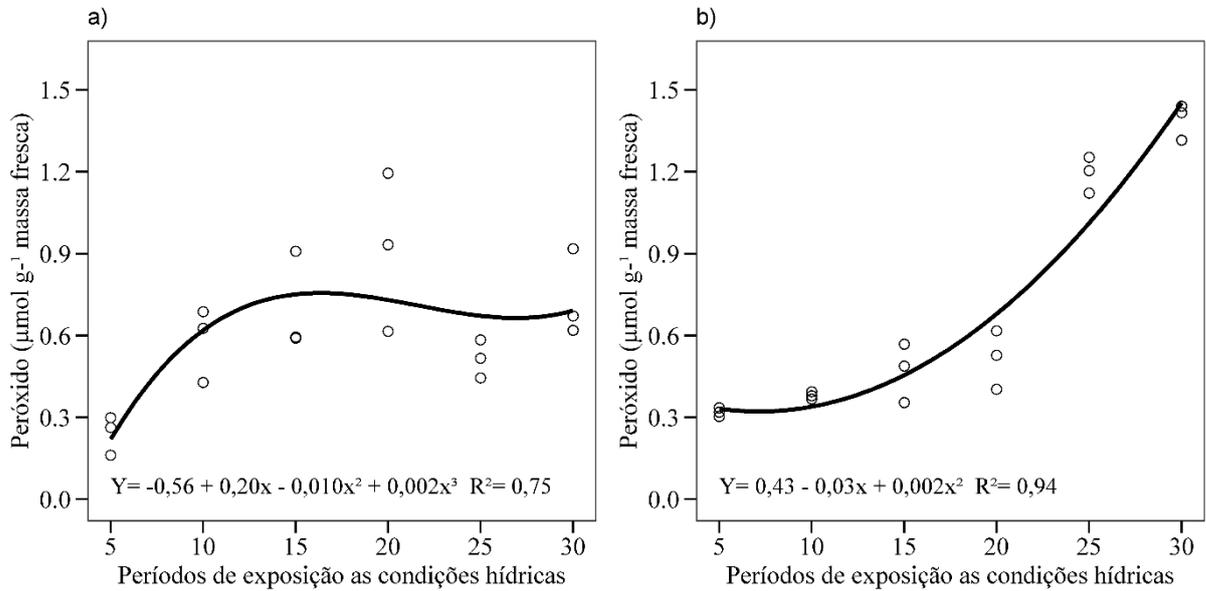


Figura 1. Regressão ajustada para Peróxido de hidrogênio (H₂O₂) dentro do fator períodos de exposição (5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de estresse) nas condições de Lâmina de água (a) e 30% CRA (b).

A Produção de POD, foi ajustada por equações do terceiro grau para ambas condições hídricas, Lâmina de água e 30% CRA. As respostas iniciais apresentam incremento em produção de POD até os 15 dias para lâmina de água e até os 10 dias para déficit hídrico (Figura 2). A adição dos fatores estressores ocorreu aos 35 dias após a germinação, e persistiram o tempo necessário para cada tratamento, o que pode estar relacionado neste caso por atravessar diferentes estágios. Os efeitos de alagamento e déficit hídrico tem intensidade alterada conforme o estágio da cultura (TIAN et al., 2021; SINGH et al 2021). Para a POD, condição lâmina, foram observados os pontos de inflexão aos 11 dias (ponto de máxima) e aos 23 dias (ponto de mínima). Para condição 30% CRA 10 dias (ponto de máxima) e 23 dias (ponto de mínima).

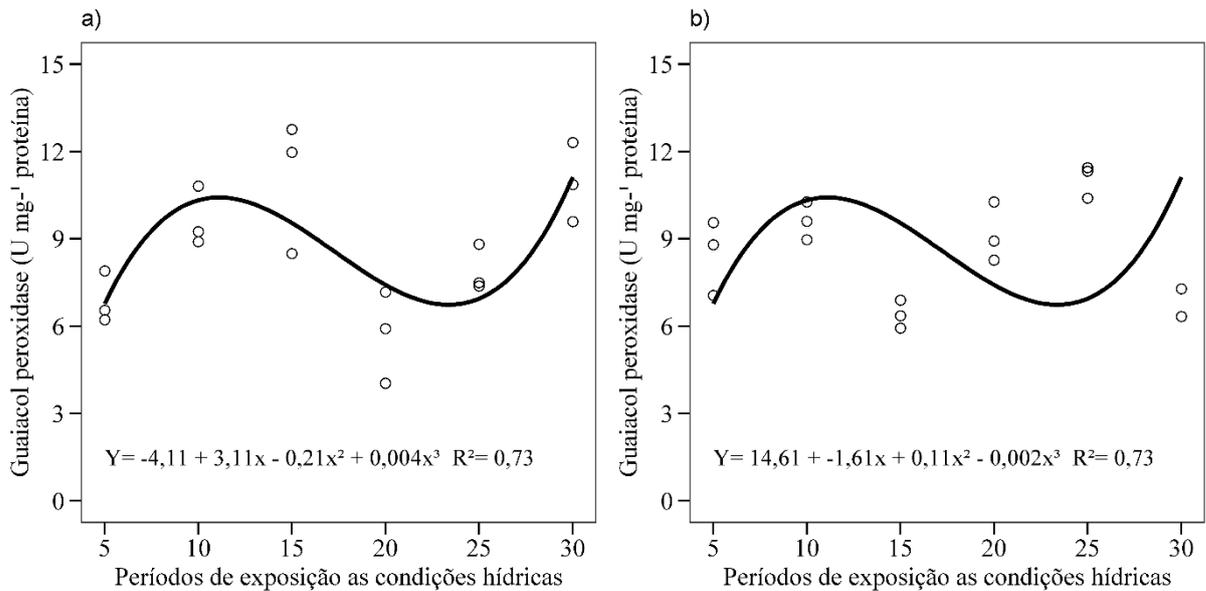


Figura 2. Regressão ajustada para guaiacol peroxidase (POD), dentro do fator períodos de exposição (5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de estresse) nas condições de Lâmina de água (a) e 30% CRA (b).

A produção de semente por planta é um dos principais mecanismos de perpetuação de espécies daninhas (DA SILVA et al., 2020; ZINDAHL, 2007) e um dos principais objetivos quando se cultiva culturas agrícolas. Em análise aos dados é possível inferir que o tratamento adicional (condição ideal de desenvolvimento) quando comparado ao fatorial (condições de estresse hídrico) foi superior pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro para produção de semente (Tabela 5). Estes resultados indicam o potencial dano ocasionado pelos períodos de estresse hídrico (JUNIOR et al., 2018). A condição de 30% CRA não diferiram estatisticamente de lâmina de água para os períodos de 5 e 20 dias de exposição, não havendo desta forma uma condição de estresse determinante para maiores produções de semente, exceto à comparação com a condição ideal (80% da CRA).

Tabela 5. Média da Produção de sementes de cada tratamento MSPA (massa seca de parte aérea em gramas) e MSR (massa seca de raiz em gramas), sob diferentes condições hídricas e períodos de exposição a condição.

Períodos de exposição	Produção (g)		MSPA		MSR	
	Lâmina	30% CRA ²	Lâmina ³	30% CRA	Lâmina	30% CRA
5	25,35 a ¹	29,72 a	62.22 b	72.95 a	101.94 b	118.55 a
10	21,03 b	33,175a	53.97 b	75.37 a	105.88 a	104.08 a
15	22,60 b	32,12 a	53.40 b	69.77 a	77.27 a	56.19 b
20	22,67 a	28,02 a	51.22 b	61.50 a	73.37 b	111.67 a
25	20,52 b	27,47 a	47.25 b	65.57 a	73.85 a	74.49 a
30	16,07 b	28,80 a	45.25 b	70.80 a	83.60 b	97.35 a
Adicional⁴	35.58 A		69.30 A		105.02 A	
Fatorial	25.63 B		60.77 B		89.85 B	

¹Médias não seguidas pelas mesmas letras minúscula, na linha, diferem para fator condição hídrica dentro dos períodos de exposição, e maiúscula entre adicional e fatorial, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em 0,05 de probabilidade de erro. ²CRA - Capacidade de retenção de água do solo. ³Lâmina: Lâmina de água de 5 centímetros. ⁴Adicional: condição de 80% de capacidade de retenção de água no solo.

Analisando a produção de massa seca de parte aérea destaca-se que independente do período de exposição a condição de 30% foi estatisticamente superior pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro (Tabela 5). Estando estes resultados de acordo com as estaturas máximas indicadas pelo parâmetro β_1 , determinando pelo modelo não linear logístico, o qual indicou estaturas máximas superiores para os tratamentos com períodos de exposição a déficit hídrico. No entanto o teste de médias para o tratamento adicional (80% CRA) indica que este foi estatisticamente superior quando comparado aos fatores de estresse. Assim há uma redução da massa de azevém quando cultivado sob condição de lâmina de água, independente do período de duração, agravando-se a medida que os períodos persistem (LANGAN et al., 2022; MCFARLENE, CIAVARELLA e SMITH 2003).

A condição de estresse hídrico é responsável por redução na produção de massa, área foliar, estatura, produtividade de qualquer cultura que seja afetada. Estudos apontam que pequenos períodos de deficit hídrico podem favorecer o desenvolvimento radicular e dependendo do estágio da planta não afeta negativamente seu desenvolvimento. O presente estudo trouxe como resultado diferença não significativa entre os períodos 5, 10 15, 20, 25 e 30 dias de estresse, para condição de escasses, o qual atingiu maior produção de MSPA que o azevém cultivado em condições ideais de desenvolvimento sem períodos de estresse (Tabela 5).

Quando cultivado em diferentes condições hídricas do solo, o azevém apresentou variabilidade de resposta na massa seca de raiz para os distintos períodos de déficit ou exesso

(Tabela 5). Ao comparar tratamentos lâmina de água e 30% CRA não houve diferença estatística a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott-Knott para os períodos de 10 e 25 dias de exposição. Apenas aos 15 dias de exposição a condição de lâmina de água houve maior produção de raiz quando comparado ao tratamento 30% CRA, Aos 5, 20 e 30 dias de exposição o a condição de estresse hídrico o fator 30% de CRA proporcionou as maiores massas de raiz comparativamente a condição de lâmina de água (Tabela 5).

Este evento pode ser explicado pelo fato de que em condições de falta de água ocorre maior estímulo ao desenvolvimento radicular, que tem como objetivo buscar explorar maiores zonas de profundidade e maiores área de exploração do solo através de raízes de segunda ordem (MCFARLENE, CIAVARELLA e SMITH 2003). Estas respostas estão evidenciadas e descritas em um maior detalhamento para a cultura do trigo, onde cada estágio de desenvolvimento e período de duração do exeso hídrico tem um efeito distinto sobre produção de massa radicular (WU et al., 2015; MASONI et al., 2016)

Pelo teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro as condições de estresse hídrico proporcionaram menor produção de raiz quando comparado ao tratamento adicional (condição ideal de desenvolvimento) (Tabela 5). Estes resultados também foram observados por Pezzopane et al., (2015) onde em condição de deficit hídrico constatou a redução na produção de massa seca de raiz e parte aérea ou até mesmo a morte das plantas em biótipos de *Brachiaria brizantha*.

O ajuste das equações para produção de massa seca de parte aérea foi obtido por uma função linear e cúbica respectivamente para as condições de Lâmina de água e 30% CRA para os dias de exposição aos fatores (Figura 3). De forma geral, o aumento do período de exposição às condições hídricas de lâmina de água e 30 CRA promoveram redução na produção de massa seca de parte aérea, sendo mais evidente para o primeiro caso. No entanto, observa-se que 25 e 30 dias de exposição a 30% CRA não foi impactante na produção de MSPA do azevém. A ocorrência desta resposta pode estar relacionada ao tempo que se faz necessário para a planta adaptar-se a condição de estresse, podendo ter superado o período de maior impacto negativo em nível fenológico (MALICK et al., 2001). Para a variável MSPA, condição 30% CRA os pontos de inflexão foram verificados aos 8 dias (ponto de máxima) e 23 dias (ponto de mínima).

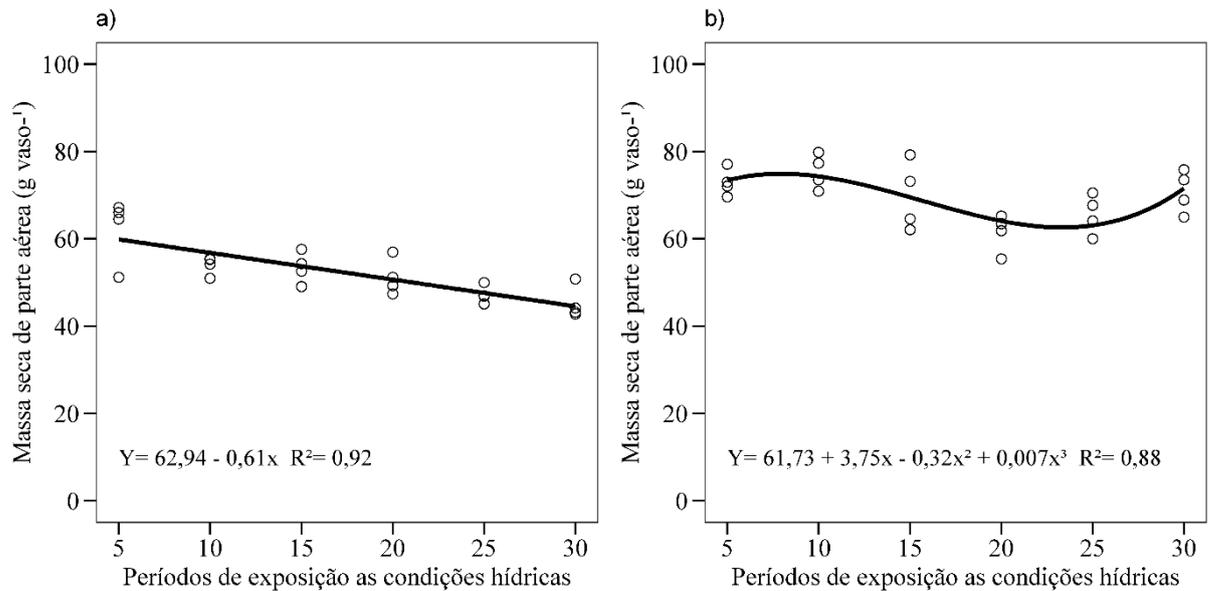


Figura 3. Regressão ajustada para massa seca de parte aérea (MSPA) coletada ao final do experimento, submetidas a 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de exposição as condições Lâmina de água (a) e 30% CRA (b).

A produção de raiz, estimada em massa seca de raiz, pode ser ajustada para funções cúbicas em ambas condições de umidade do solo (lâmina de água e 30% CRA) (Figura 4). Para lâmina de água a massa seca de raiz coincide com a MSPA apenas quando comparados valores absolutos iniciais e finais indicando que o aumento de exposição a um período de estresse apresenta redução de massa. Para a variável MSR, condição lâmina, os pontos de inflexão foram verificados aos 5 dias (ponto de máxima) e 24 dias (ponto de mínima). Para condição 30% CRA os pontos de máxima e de mínima foram verificados aos 17 dias (ponto de mínima) e 31 dias (ponto de máxima).

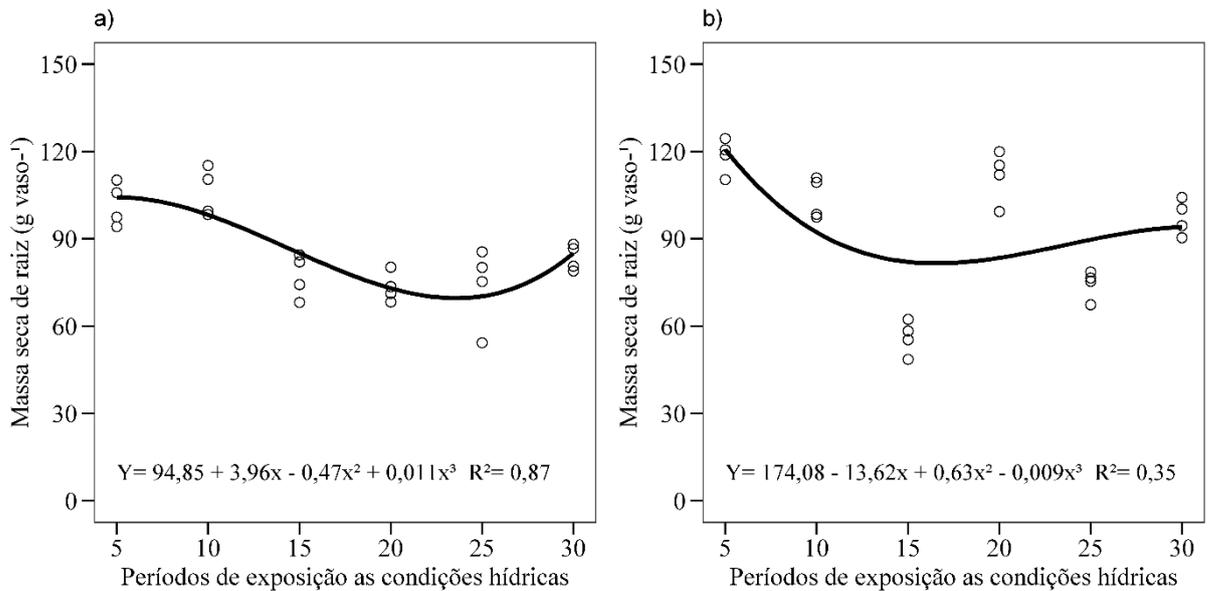


Figura 4. Regressão ajustada para massa seca de raiz (MSR) coletada ao final do experimento, submetidas a 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de exposição as condições Lâmina de água (a) e 30% CRA (b).

Decompondo os efeitos de dias de exposição a condição hídrica na análise de regressão, observou-se que a produção de sementes total de azevém em condição de lâmina de água ajustou-se à regressão polinomial (Figura 5 a). A produção de sementes para condição de 30% CRA foi representada por uma linha de tendência uma vez que os pontos não puderam ser representados por uma equação significativa. Por sua vez, a condição de 30% CRA não evidenciou ajuste. Nesse sentido, a medida que o período de exposição de lâmina de água no azevém aumenta, a produção de sementes reduz. Os efeitos negativos sobre aspectos reprodutivos estão bastante citados na literatura para espécies de gramíneas como o trigo, que não são naturais de ambientes alagados (TAVARES et al., 2020; BORTOLUZZI et al., 2019; ROCHA et al., 2021). Para variável produção, condição de lâmina, os pontos de inflexão foram verificados aos 20 dias (ponto de máxima) e aos 12 dias (ponto de mínima) de exposição as condições hídricas.

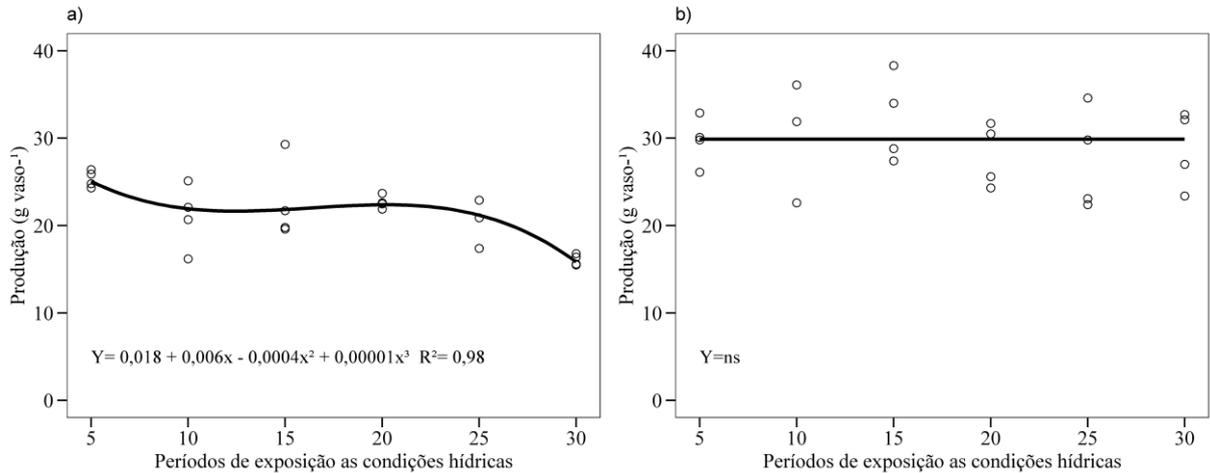


Figura 5. Produção de sementes de azevém em gramas (Produção) avaliadas nos períodos de 5, 10, 15, 20 e 25 dias de exposição a condição hídrica. (a) Equação ajustada para condição de Lâmina de água; (b) Linha de representação média para condição de 30% CRA, para equação não ajustada.

O presente estudo apresenta uma nova abordagem para o conhecimento do crescimento de azevém, esclarecendo a maior severidade de estresse proporcionado pelo alagamento comparativamente ao déficit hídrico.

3.4 CONCLUSÃO

Os períodos de exposição a Lâmina de água afetaram com maior intensidade o desenvolvimento de azevém quando comparados a 30% CRA do solo.

Após a retomada da condição ideal de desenvolvimento as plantas de azevém submetidas a 30% CRA do solo permaneceram por mais tempo crescendo.

A produção de H₂O₂ aumenta a medida que os períodos de estresse por déficit hídrico persistem enquanto que em condição de lâmina de água esta apresenta aumento crescente aos 5, 10, 15 e 20 dias de duração tendendo a reduzir aos 25 e 30 dias.

A estatura final de plantas de azevém é superior para condição de 30% CRA comparativamente a lâmina de água e superior ao 80% CRA.

Há maior produção de sementes para condição de 80% CRA, mas em condição de estresse hídrico, períodos de exposição a déficit hídrico foi menos prejudicial para esta variável comparativamente à lâmina de água. A massa seca da parte aérea acompanha a mesma resposta.

O aumento da exposição do azevém ao estresse hídrico promove maior produção de H₂O₂ e POD para ambas condições hídricas.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, L. B.; STERLING, T. M. Recovery of African rue seedlings from water stress: Implications for recruitment and invasion. African rue (*Peganum harmala*) seedling response to herbicides applied under water-deficit stress. **Weed Sci.**, v. 54, p. 198-204, 2006.
- ALMEIDA, A.; VRIEZEN, W. H.; STRAETEN, D. Molecular and Physiological mechanisms of flooding avoidance and tolerance in rice. **Russian Journal of Plant Physiology**, v 50, n. 6, p. 743-751, 2003.
- ARELLANO, A. D. V. et al. Seeds coated with Trichoderma etravirine and soil amended with silicon improve the resistance of *Lolium multiflorum* against *Pyricularia oryzae*. **Biological control**, v. 154, p 104499, 2021.
- ASHRAF, M. Relationships between leaf gas exchange characteristics and growth of differently adapted populations of Blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz) under salinity or waterlogging. **Plant Science**, v. 165, p. 69-75, 2003.
- AUGUSTYNIAK, A., et al. A tolerância ao congelamento das formas de introgressão de *Lolium multiflorum*/*Festuca arundinacea* está associada à alta atividade do sistema antioxidante e ao ajuste da atividade fotossintética sob aclimação ao frio. **Revista Internacional de Ciências Moleculares** , v. 21, n. 16, pág. 5899, 2020.
- AZEVEDO, R. A.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. J. Response from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation in leaves and roots of wild type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 104, n. 2, p. 280-292, 1998.
- BACK, Á. J. Alternative model of intense rainfall equation obtained from daily rainfall disaggregation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, n. 2, p. 1–11. 2020.
- BAILEY-SERRES, J.; FUKAO, T.; RONALD, P.; ISMAIL, A.; HEUER, S.; MACKILL, D. Arroz tolerante à submersão: a jornada de SUB1 da variedade local à cultivar moderna. *Arroz* 2010, 3: 138–147. 10.1007/s12284-010-9048-5
- BESKOW, W. Tipos de azevens e suas particularidades. **Transponto**, 2016. 2p.
- BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (DEE). **Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuse** (FDRH). Disponível em: <https://arquivofee.rs.gov.br/noticias/>. Acesso em 18 abr. 2021.
- BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTED, K.V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v. 91, p. 79-194, 2003.
- BODNER, G.; NAKHFOROOSH, A.; KAUL, H.P. Management of crop water under drought: a review. **Agronomy Sustainability**. V. 35, p.401-442. 2015.
- BOND, J. A.; EUBANK, T. W.; BOND, R. C.; GOLDEN, B. R.; EDWARDS, H. M. Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) control with fall-applied residual herbicides. **Weed Technology**, v. 28, n. 2, p. 361-370, 2014.

- BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015.
- BORTOLUZZI, M.P. et al. **Risco de ocorrência de excesso e déficit hídrico na soja em terras baixas**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.
- BOX, G.E.P.; COX, D.R. Na analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Serie B (Methodological)*, v.26, p. 211-243.1964.
- CALLOW, M. N. et al. The effect of defoliation practice in Western Australia on tiller development of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) and its association with forage quality. **Grass and Forage Science**, v. 55, n. 1, p. 232-241, 2000.
- CHOUDHURY, F.K.; RIVERO, R.M.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Espécies reativas de oxigênio, estresse abiótico e combinação de estresse. **Planta J**, v. 90 , 856-867, 2017.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v, 7, n. 6, p. 1-89, 2021.
- DA CUNHA, N. G.; DA COSTA, F. A. Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado. **Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2013.
- DA SILVA, G.A. et al. Fatores ambientais na germinação de sementes e mecanismos de defesa para garantir sua perpetuação. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e93491110524-e93491110524, 2020.
- DA SILVA, G.R. et al. Efeito do alumínio sobre variáveis morfofisiológicas e bioquímicas de *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos em sistema hidropônico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65755-65773, 2020.
- DAVANSO, V. M. et al. Photosynthesis, grow and development of *Tabebuia avellanedae* Lor. EX Grisb. (Bingoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, p. 375-384, 2002.
- DE FREITAS, F.A.; OLIVEIRA, A.; CARVALHO, F.; ZIMMER, P.; MATTOS, L.; KOPP, M. et al. Análise multivariada de populações de diferentes azevém (*Lolium multiflorum* L.) em regimes de águas diferentes. **Atual Ciência e Tecnologia Agrícola** , v. 9, n. 1, 2003.
- DE OLIVEIRA, A. P. T. et al. Características e utilização do azevém (*Lolium multiflorum* L.) na alimentação de ruminantes – Revisão de literatura. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 3, p. 245-259, 2019.
- DEUBERT, R. **Ciências das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. v. 1. p 431.
- DICKSON, R. L. et al. Effect of water stress nitrogen and gibberellic acid on fluazifop and glyphosate activity on oats (*Avena sativa*). **Weed Sci.**, v. 38, p. 54-61, 1990.

EL-MOSHATY, F. I. B. et al. Lipid peroxidation and superoxide productions in cowpea (*Vigna unguiculata*), leaves infected with tobacco rings virus or Southern bean mosaic vírus. **Journal of Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 43, p. 109-119, 1993.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília, DF. p. 356. 2. 2018.

ETESAMI, H.; JEONG, B.R; Silicon (Si): review and future prospect son the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 147. p.881-896. 2017.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D.A (2021). ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs. R package version 1.2.2.

FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.DOS.; FONTANELI, R.S. Morfologia de gramíneas forrageiras. In: **Forrageiras para Integração lavoura-PecuáriaFloresta na Região Sul-Brasileira**. Brasília: Embrapa, p. 544, 2012.

FONTANELI, R.S.; DOS SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. **Morfologia de gramíneas forrageiras**. In: Forrageiras para Integração lavoura-PecuáriaFloresta na Região Sul-Brasileira. Brasília: Embrapa, p. 544, 2012.

FUKAO, T.; BAILEY-SERRER. Plant responses to hypoxia – is survival a balancing act? **TRENDS in Plant Science**, v. 9, n. 9, p.449-456, 2004.

GALLIE, D.R. O papel da reciclagem do ácido L-ascórbico na resposta ao estresse ambiental e na promoção do crescimento das plantas. **Revista de botânica experimental** , v. 64, n. 2, pág. 433-443, 2013.

GALVAN, J.; RIZZARDI, M.; PERUZZO, S.; OVEJERO, R. Evolution of Ryegrass Seed Banks Depending on Soil Tillage and Crops. **Planta Daninha** 2015, 33, 183–191.

GEALY, D. R. et al. Crop performace and weed Supression by Weed-Supressive Rice Cultivares in Furrow and Flood-Irrigated Systems under Reduced Herbicide Inputs. **Weed Science**, v. 62, p. 303-320, 2014.

IBGE. **Regiões Geográficas Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1: 900 000. Rio Grande do Sul: IBGE, 2017. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/divisao_regional/divisao_regional_do_brasil/divisao_regional_do_brasil_em_regioes_geograficas_2017/mapas/43_regioes_geograficas_rio_grande_do_sul.pdf. Acesso em: 16 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017**. Rio Grande do Sul, 2022. Disponível em: Acesso em: 13 mar. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). SGI 2.5 – **Introdução ao Sistema de Informações Geográficas** – SGI. Imagem Geosistemas São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2022.

ISMAIL, A. M. et al., Adaptation to flooding during emergence and seedling growth in rice and weeds, and implications for crop establishment. **AoB PLANTS**: Part of a special issue entetitled 'flooding stress', v. 9, p. 30-80. 2012.

LANGAN, P.; BERNÁD, V.; WALSH, J.; HENCHY, J.; KHODAEIAMINJAN, M.; MANGINA; NEGRÃO, S. Fenotipagem para tolerância ao encharcamento em culturas: tendências atuais e perspectivas futuras. *Revista de Botânica Experimental*. (2022).

LIU, Z., et al. Effect of off-season flooding on growth, photosynthesis, carbohydrate partitioning, and nutrient uptake in *Distylium chinense*. **PloS one**, v.9, p. 107-636. 2014.

LORENZI, H. et al. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**. 7ª ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014.

LÚCIO, Alessandro Dal'Col; DIEL, Maria Inês; SARI, Bruno G. An approach for experiment evaluations for multiple harvests crops based on non-linear regression. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 250-257, 2021.

MALIK, A.I.; COLMER, T.D.; LAMBERS, H.; SCHORTE MEYER, M. Alterações nas características fisiológicas e morfológicas de raízes e parte aérea de trigo em resposta a diferentes profundidades de encharcamento. *Australian Journal of Plant Physiology* 28, 1121-1131. 2001.

MANCUSO, S. *Revolução das plantas: um novo modelo para o futuro*. São Paulo: Ubu Editora, 2019.

MARTINAZZO, E. G. et al. Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Ciência Rural**. V.43, n.1, p 35-41, 2013.

MASONI, A.; PAMPANA, S.; ARDUINI, I. Resposta da cevada à duração do encharcamento no perfilhamento. *Crop Science* 56, 2722-2730. 2016.

MCFARLANE, N. M.; CIAVARELLA, T. A.; SMITH, K.F. The effects of waterlogging on growth, photosynthesis and biomass allocation in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) genotypes with contrasting root development. **The Journal of Agricultural Science**, v. 141, n. 2, p. 241-248, 2003.

MCFARLANE, N.M.; CIAVARELLA, T.A.; SMITH, K.F. Efeitos do alagamento no crescimento, fotossíntese e alocação de biomassa em genótipos de azevém perene (*Lolium perenne* L.) com desenvolvimento radicular contrastante. *The Journal of Agricultural Science*, 141 (2), 241-248. 2003.

OLIVEIRA, V. C.; JOLY, C. A. Flooding tolerance of *colophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae): morphological, physiological and growth responses. **Trees**, v. 24, p. 185-193. 2010.

PATTERSON, B. D.; MACKAE, E. A.; FERGUSON, I. B. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium. **Anal Biochem** v.139, p.487-492. 1984.

- PEREIRA, G.A.M. et al. Interferência de plantas daninhas no crescimento da cultura do trigo. *Journal of Neotropical Agriculture*, v. 4, n. 3, p. 23-29, 2017.
- PEREIRA, R. R.; et al. Duplicação cromossômica de gramíneas forrageiras: uma alternativa para programas de melhoramento genético. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p. 1278-1285. 2012.
- PETERSON, M. A. et al. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. **Pest Management Science**, v. 74 n. 10, p. 2246-2259, 2018.
- PEZZOPANE, C.G.; et al. Hydric deficiency in genotypes of *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 871-876, 2015.
- PINTO, L. F. S.; NETO, J. A. L.; PAULETTO, E. A. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; JUNIOR, A. M. M. (Editores Técnicos). *Arroz Irrigado no Sul do Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 3, p.75-95.
- POLOK, K. Molecular evolution of the genus *Lolium* sp. Olsztyn: **Studio Poligrafii Komputerowej**, p.320, 2007.
- ROCHA, L.. Crescimento, desenvolvimento e produtividade de canola em solo com excesso hídrico natural. **Embrapa Trigo-Tese/dissertação (ALICE)**, 2021.
- RODRIGUES de S. T., et al. Evaluation of *Setaria viridis* physiological and gene expression responses to distinct water-deficit conditions. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, p. 42-58. 2019.
- RODRIGUES, S. N.; et al. Morfologia de cultivares diploide e tetraploide de azevém em diferentes condições hídricas do solo. 2017.
- SÁ, J.S. Efeitos da velocidade de rebaixamento do nível freático na produtividade da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e da ervilha (*Pisum sativum* L.). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2001.
- SARI, B. G.; LÚCIO, A. D. C.; SANTANA, C. S.; OLIVOTO, T.; DIEL, M. I.; KRYSCZUN, D. K. Nonlinear growth models: An alternative to ANOVA in tomato trials evaluation. **European Journal of Agronomy**, 104, 21-36. (2019).
- SBCPD – SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, p. 41, 1995.
- SCHNEIDER, J.R. et al. Bioquímica e fisiologia da soja em ambiente protegido sob variações de déficit hídrico, xenobiótico e bioestimulante. 2019.
- SCHWAB, N. T. Disponibilidade hídrica no cultivo de cravina em vasos com substrato de cinzas de casca de arroz. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

- SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions [internet]. **Journal of Botany**. 2012.
- SILVA, E. M. B, et al. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, n. 24(2), 180-186. 2011.
- SINGH, M.; SINGH, P.; SINGH, S. *et ai*. Uma meta-análise global das respostas de rendimento e produtividade de água de hortaliças ao déficit de irrigação. *Sci Rep* **11**, 22095 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01433-w>
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. Ed. Poto alegre: EMATER/RS ASCAR, p.222. 2008.
- TAIZ, L. e ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- TAVARES, A. C. S.; DUARTE, S. N.; DIAS, S. N.; MIRANDA, J. H.; GOMES, J. W. S.; FERNANDES, C. S. Parâmetros hídrico, químico e climático em ambiente cultivado com cana-de-açúcar sob excesso de água no solo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 11, n. 3, p. 1438-1447, 2017.
- TIAN, L.X.; ZHANG, Y.C.; CHEN, P.L.; ZHANG, F.F.; LI, J.; YAN, F.; DONG, Y.; FENG, B.L. Como o regime de encharcamento afeta o rendimento das culturas? Uma meta-análise global. *Frontiers in Plant Science* 12, 634898. 2021
- USDA, Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System. Germplasm Resources Information Network (GRIN-Taxonomy). National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. Disponível em: < <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomydetail.aspx?id=22493>>. Acesso em: 13 mar. 2022.
- VAN DOORN, W.G.; KETSA, S. Reatividade cruzada entre ascorbato peroxidase e fenol (guaiacol) peroxidase. **Biologia e tecnologia pós-colheita** , v. 95, p. 64-69, 2014.
- VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. *Modern Applied statistics with S*. 4ª edição. **Springer, New York**. (2002).
- VIEIRA, N.R.A.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E. P. **A cultura do arroz no Brasil**. EMBRAPA-CNPAP, 1999.
- WATSON, L.; MACFARLENE T.D.; DALLWITS, M.J. *The grass genera of the world: descriptions, ilustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, patogenes, world and local distribution, and references*. 1992. Version 3th August 2019. Disponível em: <http://delta-intkey.com>. Acesso em: 16 jan. 2021.
- WICKHAM, H. *Ggplot2: Elegant grafics for data analysis*. Springer-Verlag, New York, 2016.
- WILKE, C. O. *Cowplot: Streamlined plot theme and plot annotations for 'ggplot2'*. R package version 1.1.1. (2020).

WU, X.; TANG, Y.; LI, C.; WU, C.; HUANG, G. Fluorescência da clorofila e respostas de rendimento do trigo de inverno ao alagamento em diferentes estágios de crescimento. **Plant Production Science** 18, 284-294. 2015.

XIE, Z. et al. Silicone improves maize photosynthesis in saline-alkaline soils. **Science WorldJournal**. V.1, 2015.

ZIMDAHL, R.L. Fundamentals of Weed Science. Academic Press is an imprint of Elsevier, 665 p. 2007.

4 CAPÍTULO 2 - CONTROLE QUÍMICO DE *Lolium multiflorum* Lam., QUANDO SUBMETIDO A VARIAÇÃO HÍDRICA DO SOLO POR DIFERENTES PERÍODOS

RESUMO

O azevém é frequentemente relatado como uma planta com escapes de controle químico, fatores estes, associados as suas habilidades de resistir metabolicamente. Fatores como alteração em condições hídricas do solo refletem diretamente em uma gama de respostas adaptativas, as quais, são capazes de reduzir a ação de herbicidas aplicados sobre esta espécie. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da exposição de azevém a diferentes condições hídricas do solo na eficácia de glifosato e cletodim. Para isso, foram conduzidos dois experimentos, um com cada um dos herbicidas citados, com delineamento inteiramente casualizado, dispondo de 4 repetições em esquema fatorial $2 \times 6 \times 4$. O fator A representou déficit hídrico, com 30% da capacidade de retenção de água do solo (CRA) e lâmina de água de 5 cm de profundidade; o fator B os períodos de exposição 0, 2, 10, 15, 20 e 25 dias de estresse. O fator C foi representado por 4 doses de herbicida, sendo elas 0,0; 540,0; 1080,0 e 2160,0 g.e.a.ha⁻¹ para o experimento com glifosato e 0,0; 60,0; 120,0 e 240,0 g i.a ha⁻¹ para o experimento com cletodim aplicados um dia após a retirada dos fatores de estresse hídrico. As plantas de azevém foram cultivadas até os 25 dias após germinação, em seguida foi realizada a adição dos fatores. A variável analisada foi a massa seca da parte aérea, corrigida para a percentagem em relação ao tratamento 0 dias. O estudo permitiu inferir que a aplicação de glifosato e cletodim reduziu a porcentagem de massa seca de azevém independente da dose, do período de duração e da condição de estresse quando se realizada a aplicação 1 dias após encerramento da condição de estresse.

Palavras Chave: estresse hídrico, herbicida, azevém

4.1 INTRODUÇÃO

Lolium multiflorum Lam é uma monocotiledônea com ciclo de desenvolvimento anual, de crescimento cespitoso e numerosa produção de perfilhos, além disso, apresenta ótimo crescimento durante o inverno, haja vista que, apresenta temperatura base de 4 °C (MÜLLER et al., 2009). Suas sementes podem apresentar viabilidade por longos períodos quando armazenadas no solo, germinando durante meses em vários fluxos. Sua ocorrência como invasora se dá principalmente em área de trigo, triticale, aveia, canola, pomares e entre outras culturas de clima frio (VARGAS e BIANCHI, 2011). Também são relatados danos por competição em culturas sucessoras, ou seja, cultivos de verão em períodos iniciais de desenvolvimento quando há sobreposição de ciclos. As plantas de azevém, além de competirem por nutrientes, água e luz, exercem efeitos alelopáticos através da exsudação de compostos (VARGAS et al., 2018).

O emprego de herbicidas para o controle de plantas daninhas é amplamente difundido por possuir rápida ação e praticidade. A eficiência destes compostos químicos sobre as plantas depende exclusivamente de condições ambientais como temperatura, luminosidade, umidade do ar, e umidade do solo (FLEXAS et al., 2002). As combinações entre fatores bióticos e abióticos representam um grande número de interações, as quais, afetam de maneira distinta cada espécie. Desse modo, a complexidade entre as combinações precisa ser compreendida para possibilitar o planejamento de estratégias que possam proporcionar maior assertividade e eficiência dos herbicidas, o que resulta também em menor impacto ambiental eminente da necessidade reduzida de reaplicações (PAN et al., 2017).

Condições de déficit e excesso hídrico são comuns estresses redutores de eficiência (VARANASI et al., 2016), além de serem considerados eventos cada vez mais frequentes no que tange as mudanças climáticas (DEWES et al., 2017). Existe um grande número de estudos sobre a ação da falta de água no efeito de herbicidas em plantas, todavia a condição de excesso hídrico é pouco estudada.

As alterações em condição hídrica desencadeiam mecanismos de repostas morfológicas nas plantas como aumento na pilosidade, número de estômatos, número de células buliformes, espessamento do parênquima paliádico, maior deposição de cutícula (MCFARLANE; CIAVARELLA e SMITH, 2003). No entanto, os primeiros reflexos causados pelo déficit hídrico são fisiológicos, os quais, induzem fechamento estomático e à medida que estes estresses evoluem, as células buliformes são acionadas para realizarem enrolamento foliar (TAIZ et al., 2016).

A persistência do estresse hídrico agrava os sintomas provocados pelo fechamento estomático, pois a falta de oxigênio (O_2) disponível sobrecarrega os fotossistemas que passam a produzir espécie reativas de oxigênio (ROS), além de serem produzidas em organelas de alto fluxo como peroxissomos e mitocôndrias (MITTLER 2017). A decorrência desse processo causa de forma imediata degradação de estruturas celulares (CZARNOCKA et al., 2018). Estruturas como os ribossomos produzem compostos capazes de neutralizar estes oxigênios singletos, porém, esta estratégia não é capaz de reverter danos inicialmente causados, gerando elevado gasto energético que se limita ao período de estresse e sua intensidade (GILL e TUTEJA, 2010). Para plantas capazes de se desenvolver em alagamento, os processos de adaptação incluem gasto energético, alteração no metabolismo, além de apresentar a necessidade de produzir aerênquimas, como ocorre com *Lolium multiflorum*, o que acarreta em processo de degradação celular nas raízes, partes aéreas e colmos (LANGAN et al., 2022). O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da exposição de azevém a diferentes condições hídricas do solo na eficácia de glifosato e cletodim.

4.2 MATERIAL E METODOS

O estudo contou com dois experimentos instalados em casa de vegetação, localizada geograficamente 29°42'52.14"S, 53°43'8.26"O e altitude de 102 m. Os experimentos foram conduzidos de forma simultânea entre o período de julho a outubro (2021). A casa de vegetação possui medidas de 6m x 20 m e 5m de pé direito. As condições do ambiente consistiram em temperatura mínima de 8,9°C, máxima de 27,5°C e média de 18,2°C com umidade relativa de 70,3%.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, sendo os tratamentos arranjos em fatorial $2 \times 6 \times 4$, caracterizado por duas condições hídricas: 30% da capacidade de retenção de água (30% CRA) e lâmina de água de 5 centímetros; seis períodos de exposição às condições hídricas: 0, 5, 10, 15, 20 e 25 dias; e quatro doses de herbicida: 0%, 50%, 100% e 200% da dose recomendada dos herbicidas Glizmax Prime® e Poquer®. Os herbicidas utilizados foram: glifosato nas doses 0,0; 720,0; 1440,0 e 2880,0 g de e.a. ha⁻¹ em um experimento e Cletodim nas doses 0,0; 60,0; 120,0 e 240,0 g i.a ha⁻¹ em outro experimento. O tratamento de 0 dias de exposição foi mantido durante o período na condição de 80% CRA, considerada a condição ótima para o crescimento e desenvolvimento do azevém.

As unidades experimentais foram compostas por vasos com capacidade de 9 litros preenchidos com 7 kg de solo, permitindo um sobressalente de 5 cm para os tratamentos que receberam lâmina de água. O experimento contou com 4 repetições, sendo que, para cada unidade experimental foram estabelecidas 4 plantas observadas. Os vasos foram espacialmente rotacionados durante a condução do experimento com frequência diária. Com exceção dos tratamentos com lâmina de água, as demais unidades experimentais contaram pequenos furos, vedados com tecido micro poro para permitir a saída de água sem haver perda de solo.

A população de azevém utilizada nos experimentos corresponde a uma amostra coletada em Santa Maria – RS (LAT: 29°38'32.52"S; LONG: 53°56'39.35"O e altitude de 185 metros). A coleta foi realizada em vários pontos na área, constituindo subamostras, as quais foram homogeneizadas formando uma amostra única. A população descrita não possui histórico de resistência a herbicidas.

Utilizou-se solo coletado em uma camada de 10 cm de profundidade, classificado como Argissolo Distrófico Arênico. Os resultados da análise química e física do solo foram: pH em água (1:1) = 4,55; matéria orgânica = 1,8%; P = 3,3mg dm³; K = 0,119 cmol_c dm³; H + Al = 7,0 cmol_c dm³; CTC efetiva = 2,7 cmol_c dm³; Saturação por Bases = 8%; total areia = 40,41 kg kg⁻¹; silte = 40,11 kg kg⁻¹; argila 19,4 kg kg⁻¹. Após peneirado e corrigida a fertilidade conforme o manual de adubação e calagem, procedeu-se com a secagem em estufa 70°C até atingir umidade constante a fim da determinação das condições hídricas do solo.

Após a secagem foram colocados 7,0 kg de solo em vaso de massa conhecida, contendo orifícios na base, submetido a saturação e posteriormente pesado até manter massa constante. Considerando-se que a massa específica da água seja de 1000 kg m⁻³ ou 1 kg L⁻¹, determinou-se 100% da capacidade de retenção de água através da diferença de peso do vaso com solo seco em que deixou-se drenar a água livre. Para determinar as condições de 30% e 80% foram utilizadas as seguintes formulas (SCHWAB 2011):

$$PV_{80\%} = (PVCRA - PV_{seco}) \cdot 0,8 + PV_{seco} \quad (1)$$

$$PV_{30\%} = (PVCRA - PV_{seco}) \cdot 0,3 + PV_{seco} \quad (2)$$

sendo PVn% o peso do vaso para cada tratamento; PVCRA o peso do vaso na capacidade de retenção de água do solo; PVseco o valor do vaso preenchido com solo seco. Para evitar perdas de solo, no momento do escoamento da água foi utilizado uma malha de 0,1 mm cobrindo os

orifícios de escape do vaso. Nos vasos em que foram adicionados os tratamentos lâmina de água utilizou-se saco plástico como revestimento, inibindo as perdas de água por drenagem.

A semeadura foi realizada utilizando disco gabarito com a finalidade de proporcionar o mesmo arranjo espacial para as 4 plantas utilizadas em cada unidade experimental. A semeadura do experimento, onde avaliou-se o herbicida cletodim foi realizada no dia 22/07/2021 e para o herbicida glifosato em 09/08/2021, para isso foram utilizadas 4 sementes por cova e mantido o solo com 80% de CRA. Posteriormente foi realizado desbaste reduzindo a uma planta por cova após a emergência completa a qual ocorreu respectivamente nos dias 03/08/2021 e 16/08/2021.

Os fatores de condição de umidade do solo foram adicionados em cinco períodos distintos mais o tratamento controle, a partir do momento em que as plantas atingiram perfilhamento, aos 25 dias após a germinação, proporcionando períodos de estresse, tanto por déficit quanto por saturação hídrica. A partir do momento em que as condições hídricas foram adicionadas, passaram a ser realizadas duas pesagens por dia, com o objetivo de mantê-las constantes, para isto, utilizou-se uma balança ACS system com precisão de 5 g, adicionando água até alcançar o valor pré-determinado.

A aplicação dos tratamentos herbicidas foi realizada um dia após a retirada da condição de estresse hídrico e estabelecimento da condição de umidade ideal de 80% CRA. Para pulverização, foi utilizado aplicador costal pressurizado a CO₂, munido de uma barra de quatro pontas, com espaçamento de 0,5 metros entre si, totalizando 2 metros de faixa aplicada. Utilizou-se pontas do tipo XR Teejet 110.02, com pressão de 29 lbs pol⁻² e volume de pulverização de 150 L ha⁻¹. No momento da aplicação as plantas foram deslocadas para ambiente aberto, proporcionando similaridade ao ambiente natural.

Aos 35 dias após aplicação dos tratamentos herbicidas, realizou-se a coleta de massa seca da parte aérea de cada unidade experimental. Foi eliminado qualquer fragmento preso a amostra e posteriormente levado a secagem em estufa de ar forçado com temperatura de 60°Cs. As amostras foram mantidas até a obtenção de massa constante, ao serem pesadas realizou-se a conversão para massa por planta. Os valores obtidos foram ajustados para valores percentuais em relação a massa observada no tratamento controle (sem herbicida e sem estresse hídrico), considerado 100% de massa seca.

Os dados foram inicialmente analisados quanto a aderência dos resíduos, a distribuição normal e a homogeneidade das variâncias residuais, por meio dos testes de Shapiro-Wilk

($p < 0.05$) e Bartlett ($p < 0.05$). Para ambos os experimentos, os resíduos não apresentaram distribuição normal e as variâncias foram heterocedásticas, assim, foram procedidas transformações nos dados por meio da família Box-cox (BOX e COX, 1964), que indicou que as transformações $Y^{0,35}$ e $Y^{0,50}$, respectivamente para os herbicidas Cletodim e Glifosato, como as mais adequadas para contornar a violação dos pressupostos. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para determinar os possíveis efeitos de tratamentos e interação. Quando verificado efeito significativo pelo teste F ($p < 0.05$), foram procedidas as devidas análises complementares, sendo aplicado o teste de Tukey ($p < 0.05$) para o fator qualitativo e ajustadas as regressões lineares e quadráticas para os fatores quantitativos. As análises foram realizadas e os gráficos confeccionados com o auxílio do software R (R core Team, 2019), utilizando os pacotes ExpDes (FERREIRA et al., 2021), MASS (VENABLES e RIPLEY, 2002), ggplot2 (WICKHAM, 2016) e cowplot (WILKE, 2020).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para ambos experimentos o resultado da ANOVA evidenciou interação entre os fatores testados para a variável avaliada. Desse modo, os fatores foram analisados de forma conjunta, sendo realizada comparação múltipla de médias para as condições hídricas, combinadas em cada dose e período de exposição. Para as condições hídricas e doses, foram realizadas análise de regressão polinomial considerando os períodos dentro de cada dose e, doses dentro de cada período de exposição.

4.3.1 Experimento com glifosato

Ao analisar percentagem de massa seca da parte aérea em relação ao tratamento controle do azevém (MS) nas diferentes condições hídricas, foi verificado que na ausência de herbicida (dose zero) houve superioridade para a condição 30% CRA em relação a lâmina de água em todos os períodos de exposição, exceto para o período zero dias (Tabela 1). Esse resultado indica o efeito negativo da presença de lâmina de água para o crescimento do azevém superior ao efeito negativo do déficit hídrico estando estes resultados de acordo com o que foi evidenciado no capítulo um. Contudo, esse comportamento não foi observado quando foi realizada a aplicação de diferentes doses de glifosato, onde verificou-se que em geral, não houve diferença entre as condições hídricas (Tabela 1).

Tabela 1 – Porcentagem de massa seca (MS) da parte aérea do azevém cultivado sob diferentes condições hídricas e dias de exposição às mesmas e após aplicação de diferentes doses de glifosato.

Períodos (dias)	Doses (g.e.a.ha ⁻¹)							
	0		720		1440		2880	
	30% CRA	Lâmina	30% CRA	Lâmina	30% CRA	Lâmina	30% CRA	Lâmina
0	100.0 a ¹	100 a	36.78 a	34.83 a	27.70 a	27.62 a	18.80 a	13.81 a
5	97.18 a	67.11 b	29.61 a	36.32 a	25.52 b	35.00 a	22.71 a	31.75 a
10	84.11 a	60.77 b	31.97 a	16.01 b	25.34 a	23.83 a	26.07 a	19.09 a
15	90.46 a	31.93 b	13.81 a	16.80 a	11.17 a	12.31 a	10.08 a	13.19 a
20	76.39 a	41.86 b	14.26 a	13.19 a	13.26 a	10.82 a	10.54 a	6.95 a
25	67.49 a	35.18 b	13.44 a	8.53 a	11.90 a	10.82 a	7.90 a	6.95 a
CV (%)	20,94%							

¹Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Em relação ao fator doses de glifosato, a variável foi ajustada à regressão linear para as doses 0, 720, e 1440 g e.a.ha⁻¹ na condição de 30% CRA (Figura 1a). Estas equações indicaram para redução direta da MS quanto maior é o período de exposição ao déficit hídrico, a qual reduz o crescimento de azevém (LANDI et al., 2017, LANGAN et al., 2022;).

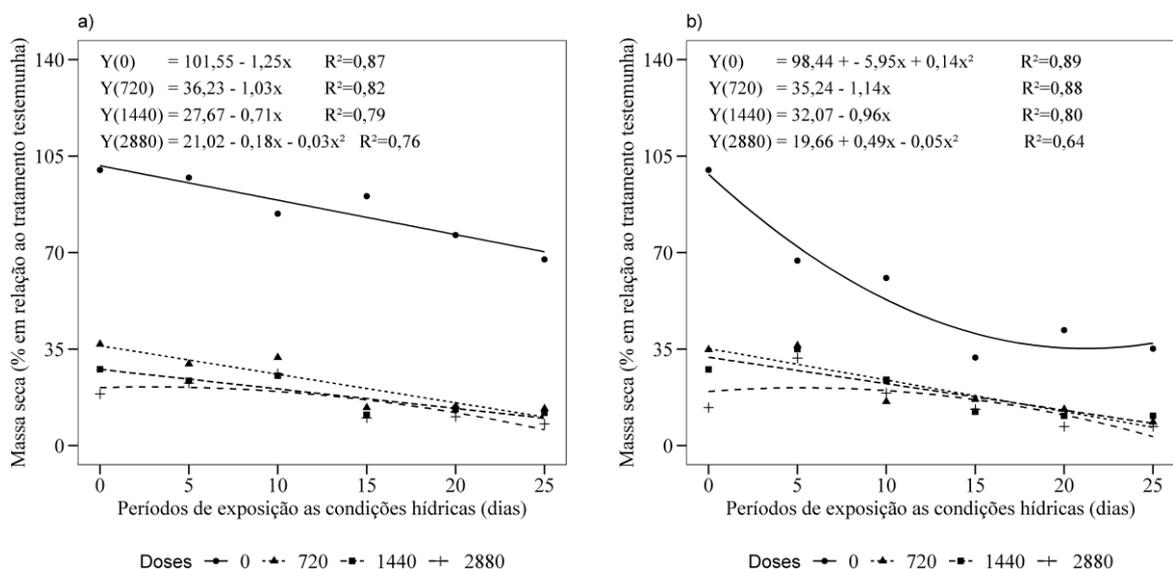


Figura 1 – Porcentagem de massa seca do azevém cultivado sob diferentes períodos de exposição às condições hídricas de 30% CRA (a) e lâmina de água na superfície do solo (b), submetido à doses do herbicida glifosato (0.0, 720, 1440 e 2880 g e.a. ha⁻¹).

A dose 2880 g.e.a.ha⁻¹ apresenta comportamento distinto das demais doses, condicionando maior redução de MS aos 0 dias de exposição ao estresse (Figura 1a), que por sua vez, tende a reduzir o valor MS aos 5 e 10 dias de exposição a 30% CRA do solo, sinalizando redução da eficiência de controle proporcionada pelo herbicida. No entanto, a medida que a duração dos períodos aumenta, ocorre redução na MS, ou seja, aos 15 e 20 dias de exposição a condição de 30% de CRA do solo, a ação do herbicida é mais pronunciada, o que proporciona controle superior as demais doses (Figura 1a). Entretanto, a dose de 2880 g.e.a.ha⁻¹ foi ajustada para uma equação do segundo grau, o que torna significativo a menor redução na MS para o período de 25 dias de exposição a condição de 30% CRA (Figura 1a).

Sob condição de lâmina de água a dose 0 do herbicida glifosato apresenta redução da MS obedecendo uma função quadrática, com valores máximos aos 0 dias e valores mínimos aos 15 dias de duração (Figura 1b), indicando uma estabilização destes valores aos 20 e 25 dias. Este efeito é proporcionado pela ação do fator lâmina de água. Aos 0 dias de exposição as condições as doses 0, 720, 1440 e 2880 g.e.a.ha⁻¹ proporcionaram respectivamente as menores MS (Figura 1b). Para os períodos de 5, 10, 15, 20 e 25 dias de duração, os resultados médios de MS apresentaram valores próximos, tendendo a redução. Este resultado indica que independente da dose do herbicida glifosato, quando as plantas de azevém são submetidas a lâmina de água a redução na MS é semelhante, ou seja, ocorre uma sensibilização das plantas a doses menores.

A MS, para dose zero na condição 30% CRA do solo, pode ser ajustada por uma equação quadrática, representando uma rápida ou maior redução MS para as avaliações realizadas aos 5, 10 e 15 dias de exposição aos períodos de duração (Figura 2a). Já na avaliação realizada aos 20 dias após a exposição ao período, a redução MS, foi significativamente inferior aos períodos anteriores e superior ao período posterior, indicando uma variabilidade do crescimento de azevém sob estresse por excesso hídrico, o que está relacionado a seu processo de adaptabilidade (MCFARLANE, N.M.; CIAVARELLA, T.A.; SMITH, K.F). Para condição de lâmina de água, apenas o 740 g.e.a.ha⁻¹ apresentou redução MS possível de ser ajustada por uma equação linear, a medida que os períodos de duração de estresse evoluem de 0, 5, 10, 15, 10 e 25 dias de duração (Figura 1b), a massa reduz.

As doses 1440 e 2880 g.e.a.ha⁻¹ proporcionaram maior redução MS com 0 dias expostas a condição de lâmina de água, quando comparados aos 5 dias de exposição (Figura 1b), o que indica que as plantas de azevém em estudo possuem uma alta sensibilidade a glifosato. O período de exposição de 5 dias de duração apresentou efeito de redução de MS inferior aos

demais períodos, independente da dose, ou seja, menor nível de controle, pois houve maior produção de massa seca pelas plantas de azevém (Figura 1b). É possível salientar que entre a condição de 30% CRA do solo e lâmina de água (Figura 1 a e Figura 1 b, respectivamente), os períodos de duração do estresse responderam com maior amplitude as doses na condição de 30% CRA do solo.

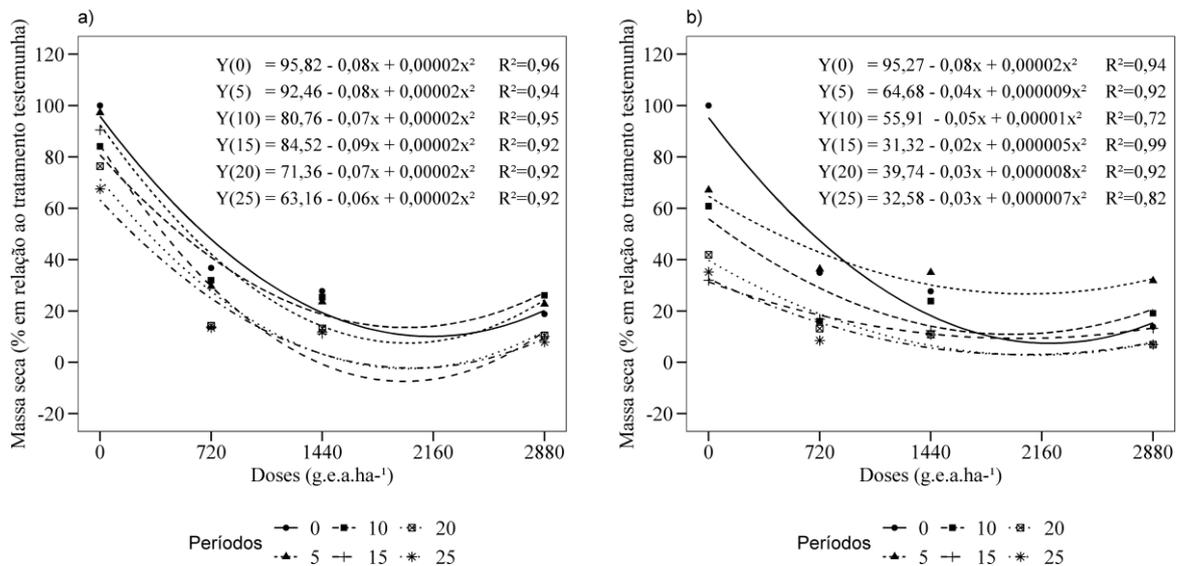


Figura 2 – Porcentagem de massa seca do azevém cultivado sob seis períodos de exposição (0, 5, 10, 15, 20 e 25 dias) às condições hídricas de 30% CRA (a) e lâmina de água na superfície do solo (b), em diferentes doses do herbicida glifosato (0, 720, 1440 e 2880 g e.a. ha⁻¹).

4.3.2 Experimento com uso de cletodim

De modo geral a tendência dos resultados indica que a redução MS proporcionada pelo efeito do herbicida Cletodim apresenta alterações para cada período de exposição em cada dose testada com respostas distintas entre 30% CRA e lâmina de água. A dose zero do herbicida Cletodim é idêntica estatisticamente apenas aos 0 dias de exposição, tendo 30% CRA do solo com médias de MS inferior a lâmina de água para o período de 5 dias e superior para os períodos de 10, 15, 20 e 15 dias de duração.

Ao analisar a dose 60 g.i.a.ha⁻¹ os tratamentos foram idênticos entre si, com exceção de 10 dias de exposição ao estresse, onde lâmina proporcionou maiores médias e aos 25 dias de estresse com lâmina proporcionando menores médias de MS (Tabela 2). Para a dose de 120 g.i.a.ha⁻¹, aos 5 e 10 dias de exposição aos períodos de estresse a condição de lâmina de água, proporcionou maiores médias de MS, o que ocorreu de forma inversa aos 20 e 25 dias de

duração, apresentando lâmina de água com menores médias de %MS. Os demais tratamentos forma idênticos entre si estatisticamente para a dose de 120 g.i.a.ha⁻¹ (Tabela2). Ao utilizar o dobro da dose recomendada 240 g.i.a.ha⁻¹, apenas os períodos de 5 e 10 dias proporcionaram valores menores de MS para condição de 30% CRA do solo comparativamente a lâmina de água. As demais combinações não diferiram entre si ao comparar 30% CRA do solo e lâmina de água na dose de 240 g.i.a.ha⁻¹ (Tabela 2).

Tabela 2 – Porcentagem de massa seca (MS) da parte aérea do azevém cultivado sob diferentes condições hídricas e dias de exposição às mesmas e após aplicação de diferentes doses de cletodim.

Períodos	Doses (g.i.a.ha ⁻¹)							
	0		60		120		240	
	30%CRA	Lâmina	30%CRA	Lâmina	30%CRA	Lâmina	30%CRA	Lâmina
0	100.000 a	100.000 a	42.884 a	39.482 a	26.400 a	23.768 a	18.734 a	16.866 a
5	23.051 b	28.893 a	23.051 a	28.893 a	20.335 b	32.071a	18.995 b	22.429 a
10	104.167 a	73.0179 b	15.535 b	32.089 a	13.972 b	27.553 a	13.451 b	23.500 a
15	96.819 a	58.357 b	17.098 a	18.857 a	13.414 a	16.714 a	14.028 a	13.536 a
20	100.819 a	47.696 b	12.037 a	16.268 a	9.786 a	4.857 b	7.981 a	7.643 a
25	94.958 a	10.482 b	10.028 a	3.429 b	8.353 a	2.893 b	5.433 a	2.911 a
CV%	20,80%							

*Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Se faz necessário descrever, que diferente do experimento com glifosato, o estudo com cletodim não foi ajustado para a dose ao longo dos períodos de duração, para a condição de 30% CRA (Figura 1a e 3a), além de ser distinto do resultado encontrado para dose zero na condição de lâmina de água (figura 1b). A partir do período de 10 dias de duração de estresse para ambas condições 30% CRA do solo e lâmina de água as doses apresentaram comportamento semelhante, atingindo redução da MS próximas entre si (figura 1b).

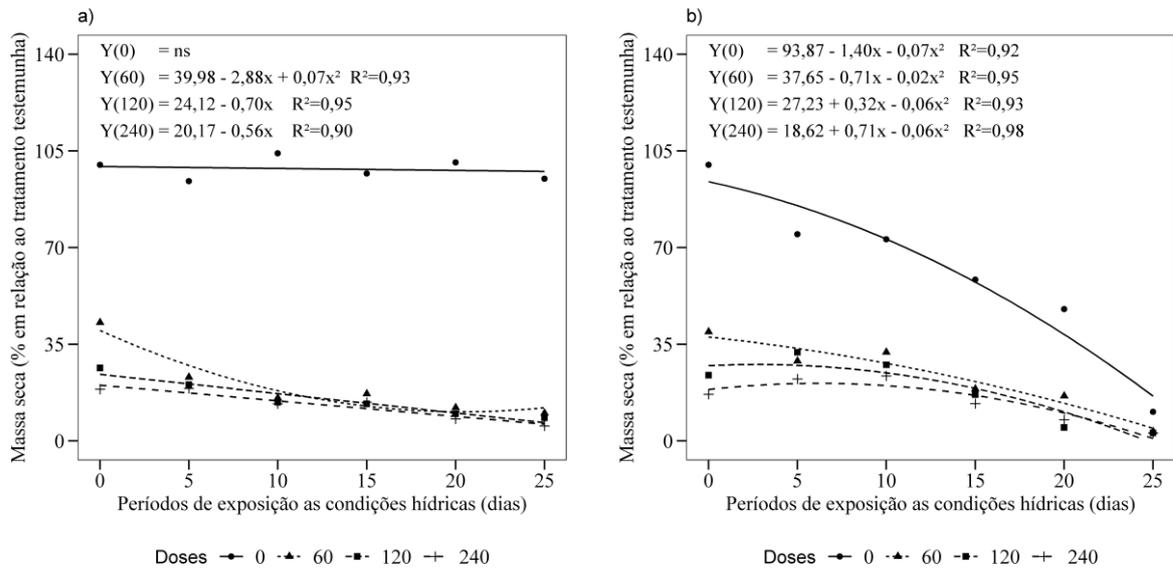


Figura 3 – Porcentagem de massa seca do azevém cultivado sob diferentes períodos de exposição às condições hídricas de 30% CRA (a) e lâmina de água na superfície do solo (b), submetido à doses do herbicida cletodim (0,0, 60, 120 e 240 g i.a. ha⁻¹).

O período de zero dias de exposição ao estresse hídrico proporcionou MS superior aos demais, independente da dose utilizada. No entanto, a medida que houve aumento da dose, todos os períodos de exposição sofreram redução MS para 30% CRA do solo (Figura 4 a). Em condição de 30% CRA do solo, o aumento da dose para 240 g.i.a.ha⁻¹ proporciona igual controle semelhante para todos períodos de estresse (Figura 4 a).

A condição de lâmina de água reduz a MS a medida que aumentam os períodos mesmo na dose zero, sendo este efeito proporcionado pelo alagamento em plantas de azevém, o qual está relacionado ao período necessário para recuperação das plantas, representado neste experimento apenas pelo intervalo entre a aplicação e a avaliação. A lâmina de água em períodos de 5 e 10 dias de duração do estresse estão mais próximos entre si, no entanto, estes também estão próximos de 15 e 20 dias de estresse MS sob a dose zero, mantendo este mesmo comportamento a medida que as doses aumentam (Figura 1b). A dose de 240 g.i.a.ha⁻¹, apresenta o mesmo comportamento em 30% CRA do solo e lâmina de água, representando pouca diferença em redução da MS para todos períodos de duração de estresse.

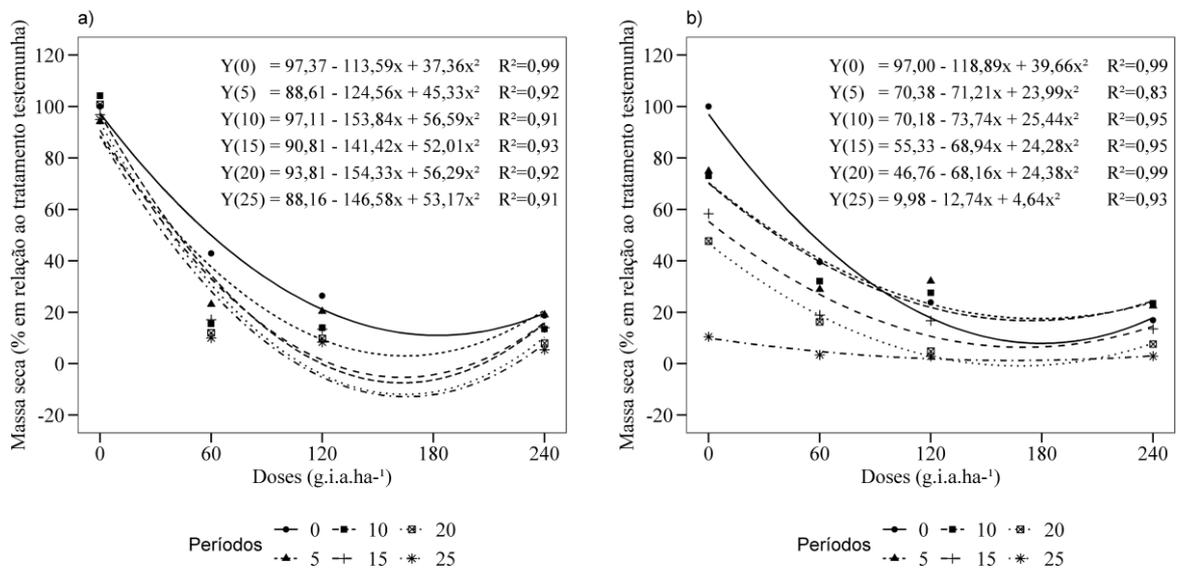


Figura 4 – Porcentagem de massa seca do azevém cultivado sob seis períodos de exposição (0, 5, 10, 15, 20 e 25 dias) às condições hídricas de 30% CRA (a) e lâmina de água na superfície do solo (b), em diferentes doses do herbicida clethodim (0, 60, 120 e 240 g i.a. ha⁻¹).

O experimento com glifosato apresentou menor variabilidade de resposta entre 30% CRA do solo e lâmina de água comparativamente ao experimento de clethodim (Tabela 1 e Tabela 2). Para a aplicação de glifosato, diferindo apenas na dose zero quando se compara os períodos de 5 a 25 dias e aos 10 dias na dose de 720 g.e.a.ha⁻¹ para condição de lâmina de água, causando maior redução MS (Tabela 1). Já o período de 5 dias foi marcado por uma maior redução de MS na dose de 1440 g.e.a.ha⁻¹ para a condição de 30% de CRA (Tabela 1). O experimento com clethodim obteve diferença entre 30% CRA do solo e lâmina de água em todas doses testadas (Tabela 2).

A condição hídrica de 30% CRA obteve maior MS na dose zero aos 10 dias, na dose de 60 g.i.a.ha⁻¹ aos 25 dias, na dose de 120 g.i.a.ha⁻¹ aos 20 e 25 dias enquanto a condição de lâmina de água obteve MS superior na dose zero aos 5 dias, na dose de 60 g.i.a.ha⁻¹ aos 10 dias, na dose de 120 g.i.a.ha⁻¹ aos 5 e 10 dias e na dose de 240 g.i.a.ha⁻¹ aos 5 e 10 dias, sem diferença estatística para os demais tratamentos (XIE ET AL., 1993). Este fenômeno pode estar relacionado a lenta retomada de crescimento após a adição da lâmina de água, elucidado no capítulo I deste trabalho, haja vista que, o herbicida inibidor da ACCase tem sua ação dependente de crescimento e divisão celular.

A condição de déficit hídrico, ou seja, umidade reduzida no solo, pode afetar diretamente o desempenho dos herbicidas (ABBOTT E STERLING 2006), pois a falta de água

na planta reduz a absorção foliar, translocação e metabolismo (ROCHA-PEREIRA 2012). A hipoxia causada pelo alagamento induz fechamento estomático, provocando efeitos danosos sobre o aparato fotossintético (JOSHI e KURNER 2012) e em ambas condições a produção de EROS é aumentada, como demonstrado no capítulo anterior. Desta forma ocorre um colapso na estrutura foliar, reduzindo a capacidade de fixação do CO₂ afetando a produção e translocação de açúcar.

A medida que o estresse hídrico é retirado ocorre uma rápida retomada do crescimento para plantas sob déficit hídrico, enquanto que plantas sob alagamento retomam o crescimento de forma mais lenta, resultados evidenciados no capítulo I. A proeminência destes efeitos pode ter ocorrido uma vez que o estudo foi realizado em casa de vegetação com condições controladas, estando sujeita a respostas alteradas em campo onde há maior amplitude das condições ambientais (LANGAN et al., 2022).

Ao enfrentar um período de estresse, seja por déficit hídrico ou excesso hídrico, a planta desencadeia mecanismos de superação, os quais apresentam alto custo energético, como por exemplo, a super expressão de espécies reativas de oxigênio demandam de metabolismo secundário para sua contenção (GILL e TUTEJA 2010; LANDI et al., 2017). Além de que em resposta ao déficit ou excesso hídrico ocorre o enrolamento foliar, como alternativa em reduzir a troca gasosa. Este processo tem o envolvimento das células bulbiformes e como consequência a movimentação do limbo foliar ocorre a desorganização das camadas lipídicas que constituem a cutícula, a abertura de fendas nesta camada pode favorecer a penetração de xenobióticos como os herbicidas (RAVEM et al 2001).

Se propõe que a maior ação dos herbicidas se deu por estes serem aplicados 24 horas após o período de estresse, com a planta daninha já em condições ideais de desenvolvimento (umidade do solo de 80%), passando para uma alta atividade metabólica com processos de expansão de tecido retomando o crescimento (LIMA et al., 2015; LOPES et al., 2021). Desta forma tornando mais evidente a ação do herbicida glifosato a medida que o período de estresse aumenta enquanto o herbicida cletodim obteve controle alto, independente do período de exposição (Figura 4). No entanto, o aumento de dose proporciona maior redução de MS para ambos herbicidas, independente da condição hídrica. Resultado este indicando maior sensibilidade de azevém a cletodim do que a glifosato.

4.4 CONCLUSÃO

Os fatores de lâmina de água e déficit hídrico favorecem a ação dos herbicidas glifosato e cletodim para redução da porcentagem de massa seca.

Todas as doses testadas de glifosato e cletodim reduzem significativamente a porcentagem de massa seca de azevém.

Os períodos de estresse hídrico favorecem o a redução de massa seca de azevém quando se realiza a aplicação dos herbicidas um dia após o encerramento do período de estresse.

REFERÊNCIAS

- BOX, G.E.P.; COX, D.R. Na analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society: Serie B (Methodological)**, v.26, p. 211-243. (1964)
- CZARNOCKA, W.; KARPIŃSKI, S.. Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses. **Free radical biology & medicine**, 122, 4–20. (2018). <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.011>
- DEWES, C.F.; RANGWALA, I.; BARSUGLI, J.J.; HOBBS, M.T.; KUMAR, S. Drought risk assessment under climate change is sensitive to methodological choices for the estimation of evaporative demand. **PLoS One**, 12, e0174045.(2017)
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D.A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs. R package version 1.2.2. (2021)
- GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiol. Biochem.** 2010, 48, 909–930.
- LIMA, Mayky Francley Pereira de et al. Ecofisiologia de espécies de plantas daninhas submetidas a estresse hídrico e à reidratação. 2015.
- LANDI, S.; HAUSMAN, J.F.; GUERRIERO, G.; ESPOSITO, S. Poaceae vs. Abiotic Stress: F Landi S, Hausman J-F, Guerriero G and Esposito S. Poaceae vs. Abiotic Stress: Focus on Drought and Salt Stress, Recent Insights and Perspectives. **Front. Plant Sci.** 8:1214. doi: 10.3389/fpls.2017.01214. (2017)
- LANGAN, P.; BERNÁD, V.; WALSH, J.; HENCHY, J.; KHODAEIAMINJAN, M.; MANGINA; NEGRÃO, S. Fenotipagem para tolerância ao encharcamento em culturas: tendências atuais e perspectivas futuras. **Revista de Botânica Experimental.** (2022).
- LOPES, Abilio Felipe et al. CONTROLE DE CAPIM-AMARGOSO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE INIBIDORES DA ACCASE APÓS DIFERENTES PERÍODOS DE RESTRIÇÃO HÍDRICA. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 1, 2022.
- MCFARLANE, N.M.; CIAVARELLA, T.A.; SMITH, K.F. Efeitos do alagamento no crescimento, fotossíntese e alocação de biomassa em genótipos de azevém perene (*Lolium*

perenne L.) com desenvolvimento radicular contrastante. **The Journal of Agricultural Science**. 141 (2), 241-248. 2003.

MITTLER R. ROS Are Good. **Trends in plant science**, 22(1), 11–19. (2017).

MÜLLER, L.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; STRECK, N. A.; MITTELMAN, A.; DOURADO NETO, D.; BANDEIRA, A.H.; MORAIS, K.P. Lower base temperature and seasonal production of diploid and tetraploid ryegrass genotypes. **Cienc. Rural** . 2009, vol.39, n.5, pp.1343-1348. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000098>.

PAN, D.; LI, Q.X.; LIN, Z.; CHEN, C.; TANG, W.; PAN, C.; TAN, H.; ZENG, D. Interactions between salicylic acid and antioxidant enzymes tilting the balance of H₂O₂ from photorespiration in non-target crops under halosulfuron-methyl stress. **Pestic. Biochem. Physiol.**143, 214–223. 2017.

PATTERSON, D.T. Effects of Environmental Stress on Weed/Crop. Interactions. *Weed science*, 43, 483–490. (1995)

RAMOS, A. R. Produção de matéria seca e qualidade bromatológica de genótipos de azevém anual (*Lolium multiflorum* lam.) sob pastejo de bovinos de leite. Dissertação Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia - Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Chapecó – SC. (2017).

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p

TAIZ, L.; et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal** . Artmed Editora, 2017.

VARANASI, A.; PRASAD, P.V.V. & JUGULAM, M. (2016) Chapter Three – Impact of climate change factors on weeds and herbicide efficacy. In: **Sparks, D.L. (Ed.) Advances in agronomy**, Vol. 135, Elsevier Inc., pp. 107–146. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.09.002>

VARGAS, L. et al. Caracterização e manejo de azevém (*Lolium multiflorum* L.) resistente a herbicidas em áreas agrícolas. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**, v. 162, p. 15-19, 2018.

VARGAS, L.; BIANCHI, M.A. Manejo e controle de plantas daninhas em trigo. In: PIRES, J. L. F. et al. **Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. p. 253-262.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. Modern Applied statistics with S. 4ª edição. Springer, New York. (2002).

WICKHAM, H. Ggplot2: Elegant grafics for data analysis. **Springer-Verlag**, New York, 2016. (2016).

WILKE, C. O. Cowplot: Streamlined plot theme and plot annotations for ‘ggplot2’. R package version 1.1.1. (2020)

XIE, H.; HSIAO, A.; QUICK, W. Influence of water deficit on the phytotoxicity of imazamethabenz and fenoxaprop among five wild oat populations. **Environmental Experimental Botany**, 33, 283–29. (1993)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o exposto no capítulo I, foi possível determinar que *Lolium multiflorum* cresce e desenvolve-se nas condições de déficit hídrico e lâmina de água de cinco centímetros quando exposto por um período de 30 dias, no entanto ambas condições afetam seu crescimento podendo destacar que sobre excesso hídrico os prejuízos são maiores. A utilização do modelo logístico de crescimento permite uma abordagem com maior detalhamento do dos efeitos estressores sobre a estatura de azevém.

Condições de estresse antecedendo a aplicação de herbicidas não afetam negativamente o controle de azevém desde que a aplicação ocorra em um período de 24 horas após o termino no estresse, esta informação permite a comunidade técnica estabelecer posicionamentos de dessecação com a utilização de glifosato e cletodim com maior segurança.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, L. B.; STERLING, T. M. Recovery of African rue seedlings from water stress: Implications for recruitment and invasion. African rue (*Peganum harmala*) seedling response to herbicides applied under water-deficit stress. **Weed Sci.**, v. 54, p. 198-204, 2006.
- ALMEIDA, A.; VRIEZEN, W. H.; STRAETEN, D. Molecular and Physiological mechanisms of flooding avoidance and tolerance in rice. **Russian Journal of Plant Physiology**, v 50, n. 6, p. 743-751, 2003.
- ARELLANO, A. D. V. et al. Seeds coated with Trichoderma etravirine and soil amended with silicon improve the resistance of *Lolium multiflorum* against *Pyricularia oryzae*. **Biological control**, 2021. v. 154, p 104499.
- ASHRAF, M. Relationships between leaf gas exchange characteristics and growth os differently adapted populations of Blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz) under salinity or waterlogging. **Plant Science**, v. 165, p. 69-75, 2003.
- BACK, Á. J. Alternative model of intense rainfall equation obtained from daily rainfall disaggregation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, n. 2, p. 1–11. 2020.
- BESKOW, W. Tipos de azevens e suas particularidades. **Transpondo**, 2016. 2p.
- BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTED, K.V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v. 91, p. 79-194, 2003.
- BODNER, G; NAKHFOROOSH, A; KAUL, H.P. Management of crop water under drought: a review. **Agronomy Sustainability**. V. 35, p.401-442. 2015.
- BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015.
- CALLOW, M. N. et al. The effect of defoliation practice in Western Australia on tiller development of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) and its association with forage quality. **Grass and Forage Science**, v. 55, n. 1, p. 232-241, 2000.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, 2021. v, 7, n. 6, p. 1-89.
- CZARNOCKA, W.; KARPIŃSKI, S. Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses. **Free Radic Biol Med**. 2018; 122:4-20. doi:10.1016/j.freeradbiomed.
- DA CUNHA, N. G.; DA COSTA, F. A. Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado. **Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2013.
- DAVANSO, V. M. et al. Photosynthesis, grow and development of *Tabebuia avellanadae* Lor. EX Grisb. (Bingoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, p. 375-384, 2002.

DE OLIVEIRA, A. P. T. et al. Características e utilização do azevém (*Lolium multiflorum* L.) na alimentação de ruminantes – Revisão de literatura. **Revista Científica Rural**, 2019. v. 21, n. 3, p. 245-259.

DEUBERT, R. **Ciências das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. v. 1. p 431.

DICKSON, R. L. et al. Effect of water stress nitrogen and gibberellic acid on fluazifop and glyphosate activity on oats (*Avena sativa*). **Weed Sci.**, v. 38, p. 54-61, 1990.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília, DF. p. 356. 2. 2018.

ETESAMI, H.; JEONG, B.R; Silicon (Si): review and future prospect son the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 147. p.881-896. 2017.

FABBRIS, E. Influência do manejo da palhada de azevém (*Lolium multiflorum* L.) e doses de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do milho (*Zea mays* L.). 2019. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/4767>.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2021. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome, **FAO**. 2021. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>.

FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.DOS.; FONTANELI, R.S. Morfologia de gramíneas forrageiras. In: **Forrageiras para Integração lavoura-PecuáriaFloresta na Região Sul-Brasileira**. Brasília: Embrapa, p. 544, 2012.

FONTANELLI, RENATO. S.; DOS SANTOS, H.P.; FONTANELLI, ROBERTO. S. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. Em: **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na na Região Sul-Brasileira**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 340 p.

FUKAO, T.; BAILEY-SERRER. Plant responses to hypoxia – is survival a balancing act? **TRENDS in Plant Science**, v. 9, n. 9, p.449-456, 2004.

GEALY, D. R. et al. Crop performace and weed Supression by Weed-Supressive Rice Cultivares in Furrow and Flood-Irrigated Systems under Reduced Herbicide Inputs. **Weed Science**, v. 62, p. 303-320, 2014.

HUMPHREYS, M.; FEUERSTEIN, U.; VANDEWALLE, M.; BAERT, J. Ryegrasses. In: BOLLER, B; POSSELT, U.K.; VERONESI, F. (eds) **Fodder crops and amenity grasses**. Handbook of plant breeding. **Springer, Nova York**. 2010; v. 5, pp. 211–260, 2010. doi: 10.1007/978-1-14419-0760-8.

IBGE. **Regiões Geográficas Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1: 900 000. Rio Grande do Sul: IBGE, 2022. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/divisao_regional/divisao_regional_do_brasil/divisao_regional_do_brasil_em_regioes_geograficas_2022/mapas/43_regioes_geograficas_rio_grande_do_sul.pdf. Acesso em: 16 jun. 2022.

ISMAIL, A. M. et al., Adaptation to flooding during emergence and seedling growth in rice and weeds, and implications for crop establishment. **AoB PLANTS**: Part of a special issue entetitled 'flooding stress', v. 9, p. 30-80. 2012.

KARN, E.; JASIENIUK, M. Genetic diversity and structure of *Lolium perenne* ssp. *multiflorum* in California vineyards and orchards indicate potential for spread of herbicide resistance via gene flow. **Evol Appl**. 2017; 10: 616– 629. <https://doi.org/10.1111/eva.12478>

LIU, Z., et al. Effect of off-season flooding on growth, photosynthesis, carbohydrate partitioning, and nutrient uptake in *Distylium chinense*. **PloS one**, v.9, p. 107-636. 2014.

LORENZI, H. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. 7. ed. Nova Odessa, SP: **Instituto Plantarum**, 2014. 379 p.

MATZRAFI, M.; GERSON, O.; RUBIN, B.; PELEG, Z. Different Mutations Endowing Resistance to Acetyl-CoA Carboxylase Inhibitors Results in Changes in Ecological Fitness of *Lolium rigidum* Populations. **Front Plant Sci**. 2017;8:1078. doi:10.3389/fpls.2017.01078

MATZRAFI, M.; PRESTON, C.; BRUNHARO, C.A. Review: evolutionary drivers of agricultural adaptation in *Lolium* spp. **Pest Manag Sci**. 2021; 77: 2209-2218, <https://doi.org/10.1002/ps.6219>.

MIRYEGANEH, M.; SAZE, H. Epigenetic inheritance and plant evolution. **Population Ecology**. 2020; 62: 17– 27. <https://doi.org/10.1002/1438-390X.12018>

MITTLER, R. (2006) Abiotic Stress, the Field Environment and Stress Combination. **Trends Plant Sci**. 2006; 11 (1):15-19. doi:10.1016/j.tplants.2005.11.002

MÜLLER, L.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; STRECK, N. A.; MITTELMAN, A.; DOURADO NETO, D.; BANDEIRA, A.H.; MORAIS, K.P. Lower base temperature and seasonal production of diploid and tetraploid ryegrass genotypes. **Cienc. Rural** . 2009, vol.39, n.5, pp.1343-1348. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000098>.

PAGNONCELLI, D. B. F. JR.; TREZZI, M.M.; GONZALEZ-ANDUJAR, J.L. Modeling the Population Dynamics and Management of Italian Ryegrass under Two Climatic Scenarios in Brazil. **Plants (Basel)**. 2020; 9(3):325. doi:10.3390/plants9030325.

PEREIRA, G. A. M.; MACIEL, J. C.; SANTOS, J. B. dos; REIS, R. F. dos; FERREIRA, E. A. Interferência de Plantas Daninhas no Crescimento da Cultura do Trigo. *Revista de Agricultura Neotropical*. 2017. 4(3), 23–29. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i3.1559>

PETERSON, M. A. et al. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. **Pest Management Science**, 2018. v. 74 n. 10, p. 2246-2259.

PINTO, L.F.S.; NETO, J.A.L.; PAULETTO, E.A. (2004). Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. *In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de. Arroz irrigado no Sul do Brasil*, ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, p.75-95.

POLOK, K. **Molecular evolution of the genus *Lolium* sp.** Olsztyn: Studio Poligrafii Komputerowej, p.320, 2007.

RAHMSTORF, S.; FOSTER, G.; CAHILL, N. Global temperature evolution: Recent trends and some pitfalls. **Environ. Res.** 2017, 12, 054001

RAMPTON, H.H.; CHING, T.M. Persistence of crop seeds in soil. **Agronomy Journal**, 1970. v.62,n. 2, p. 272-277.

RODRIGUES de S. T., et al. Evaluation of *Setaria viridis* physiological and gene expression responses to distinct water-deficit conditions. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, p. 42-58. 2019.

SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions [internet]. **Journal of Botany**. 2012.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. Ed. Poto alegre: EMATER/RS ASCAR, p.222. 2008.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TAVARES, A. C. S.; DUARTE, S. N.; DIAS, S. N.; MIRANDA, J. H.; GOMES, J. W. S.; FERNANDES, C. S. Parâmetros hídrico, químico e climático em ambiente cultivado com cana-de-açúcar sob excesso de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2017. v. 11, n. 3, p. 1438-1447.

VARGAS, L. et al. Caracterização e manejo de azevém (*Lolium multiflorum L.*) resistente a herbicidas em áreas agrícolas. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**, v. 162, p. 15-19, 2018.

VARGAS, L.; BIANCHI, M.A. Manejo e controle de plantas daninhas em trigo. In: PIRES, J. L. F. et al. **Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. p. 253-262.

VIEIRA, N.R. de A.; SANTOS, A.B. dos; SANT'ANA, E.P. **A cultura do arroz no Brasil**. EMBRAPA-CNPAP, 1999.

WANG, J.; DOBROWOLSKI, M.; COGAN, N. O. I.; FORSTER, J. W.; SMITH, K. F. Assignment of Individual Genotypes to Specific Forage Cultivars of Perennial Ryegrass Based on SSR Markers. **Crop Science**. 2009; 49, 49-58. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.03.0177>

WATSON, L.; MACFARLENE T.D.; DALLWITS, M.J. The grass genera of the world: descriptions, ilustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, patogenes, world and local distribution, and references. 1992. Version 3th August 2019. Disponível em: <http://delta-intkey.com>. Acesso em: 16 jan. 2021.

WUEBBLES, D.; FAHEY, D.; HIBBARD, K.; DOKKEN, D.; STEWART, B.; MAYCOCK, T. Eds.; U.S. Global Change Research Program: Washington, DC, USA, 2017; Volume 1, pp. 12–34.

XIE, Z. et al., Silicone improves maize photosynthesis in saline-alkaline soils. **Science WorldJournal**. V.1, 2015.