

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

Glauber Monçon Fipke

**ANTECIPAÇÃO DA COLHEITA DE TRIGO PELA DESSECAÇÃO
QUÍMICA E A INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE SEMENTES**

Santa Maria, RS, Brasil
2018

Glauber Monçon Fipke

**ANTECIPAÇÃO DA COLHEITA DE TRIGO PELA DESSECAÇÃO QUÍMICA E A
INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE SEMENTES**

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

Orientador: Prof. Dr. Thomas Newton Martin

Santa Maria, RS, Brasil
2018

Fipke, Glauber Monçon
Antecipação da colheita de trigo pela dessecação química
e a influência na qualidade de sementes / Glauber Monçon
Fipke.- 2018.
96 p.; 30 cm

Orientador: Thomas Newton Martin
Coorientadores: Ubirajara Russi Nunes, Luciane Almeri
Tabaldi
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2018

1. Triticum aestivum (L) 2. herbicidas 3.
fitointoxicação 4. sementes 5. enzimas I. Martin, Thomas
Newton II. Nunes, Ubirajara Russi III. Tabaldi, Luciane
Almeri 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.

© 2018

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

Endereço: Rua Sepé Tiarajú, nº 806, Bairro Doutor Ayub, Itaqui, RS, 97.650-000.

Fone: +55 55 9.9163-4266; E-mail: gm.fipke@hotmail.com

Glauber Monçon Fipke

**ANTECIPAÇÃO DA COLHEITA DE TRIGO PELA DESSECAÇÃO QUÍMICA E A
INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE SEMENTES**

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

Aprovado em 03 de agosto de 2018:

Thomas Newton Martin, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Alessandro Dal'Col Lúcio, Dr. (UFSM)

Luciane Almeri Tabaldi, Dra. (UFSM)

Marcos da Silva Brum, Dr. (TOTAL BIOTECNOLOGIA)

João Leonardo Fernandes Pires, Dr. (EMBRAPA)

Santa Maria, RS, Brasil.
2018

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus afilhados João Vicente e Maria Luiza que foram anunciados em boa hora e que chegarão em breve para alegrar nossas vidas, tornando todos nós - dindos e pais - mais pacientes, resilientes, educadores, protetores, dentre outros tantos adjetivos utilizados para demonstrar tamanha responsabilidade e amor.

AGRADECIMENTOS

A concretização do sonho de obter o título de Doutor materializado nesse trabalho de tese só foi possível pelo esforço conjunto de várias pessoas e instituições, que contribuíram das mais diversas formas - antes, durante e após - a execução das atividades. De maneira especial, agradeço:

- à UFSM pela oportunidade de cursar a pós-graduação;
- à CAPES pela concessão de bolsa de estudo;
- ao professor orientador - Thomas Martin - não somente pela orientação do trabalho, mas principalmente por ser um grande amigo compartilhando experiências profissionais e pessoais que foram (são) fundamentais; tenho a certeza de que crescemos juntos;
- aos professores e pesquisadores – Ubirajara Nunes, Luciane Tabaldi, João Leonardo Pires, Leandro Galon, Alessandro Lúcio, Amauri Beutler, Marcos Brum - pela disponibilidade de tempo e dedicação em função da elaboração e avaliação do trabalho;
- à minha mãe – Graça Monçon - pela oportunidade de dedicar-me aos estudos e pelo exemplo pessoal e profissional por sua idoneidade, honestidade, credibilidade e amor;
- à minha companheira – Micheli Zarzecki – pela parceria, compreensão, atenção, zelo, orações e carinho; agradeço por ter estado presente nessa jornada e me comprometo de retribuí-la em dobro pelo resto de nossas vidas;
- aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Grandes Culturas de Coxilha - amigos e futuros colegas de profissão – pela participação em todas as etapas do trabalho, tanto nos momentos de transpiração quanto nos momentos de inspiração;
- aos colegas da pós-graduação “só-nós-da-pós” – Vinícius Cunha, Tânia Müller, Gerusa Conceição, Jessica Stecca, José Eduardo Winck, Evandro Deak, Marlo Pinto, Giovane Burg, Matheus Martins e Dionatas Rodrigues – pela amizade e pelo espírito familiar em que convivemos dividindo a sala de estudos ao longo desses anos;
- aos amigos do “AP-Sentinela” – Robson Giacomeli e Anderson Marques - pela convivência diária e pelos momentos de trabalho e descontração, sempre associados a muitas risadas, brincadeiras, chimarrão, cerveja e churrasco;
- à todos meus familiares pelo incentivo durante todos os momentos;
- à todos os demais amigos – mesmo não estando aqui citados nominalmente – mas que estiveram torcendo por mim durante todo esse tempo.

MUITO OBRIGADO!

*Faça o teu melhor, na condição que você tem,
enquanto você não tem condições melhores,
para fazer melhor ainda!*

(Mario Sergio Cortella)

RESUMO

ANTECIPAÇÃO DA COLHEITA DE TRIGO PELA DESSECAÇÃO QUÍMICA E A INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE SEMENTES

AUTOR: Glauber Monçon Fipke
ORIENTADOR: Thomas Newton Martin

Visando minimizar o tempo de exposição a fatores abióticos após a maturidade fisiológica do trigo, a dessecação na pré-colheita pode ser uma prática para obtenção de sementes de qualidade. O objetivo desse trabalho foi avaliar a possibilidade de antecipar a colheita do trigo pela aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita e seus reflexos na produção de sementes. Para isso, foram realizados três experimentos no Departamento de Fitotecnia (UFSM) utilizando-se as cultivares BRS Parrudo e TBIO Sinuelo. O primeiro experimento conduzido em condições de campo avaliou a influência sobre os caracteres agrônômicos e de viabilidade econômica. Com as sementes obtidas no primeiro experimento, foram realizados o segundo e terceiro experimentos conduzidos em condições controladas no laboratório de sementes (qualidade física, fisiológica e sanitária) e de fisiologia de plantas (morfologia de plântulas e atividade enzimática), respectivamente. Os tratamentos foram distribuídos em um fatorial acrescido de tratamento adicional (3x4+1). No primeiro fator foram alocados herbicidas (*glufosinate-ammonium*, *glyphosate* e *paraquat*), no segundo fator foram alocados os estádios fenológicos de aplicação dos herbicidas (83, 85, 87, 92) e testemunha (sem aplicação). No experimento 1, o uso de herbicidas não-seletivos na pré-colheita na cultivar TBIO Sinuelo proporcionou redução média de 413 kg de sementes ha⁻¹ em relação à testemunha; a massa do hectolitro não foi influenciada; houve redução média de 11% na massa de sementes. No experimento 2, houve 8% e 26% de redução na germinação em condições controladas para BRS Parrudo e Sinuelo, respectivamente, pelo uso de herbicidas. A germinação em solo foi 14% superior para o tratamento testemunha. No experimento 3 a aplicação de herbicidas no estágio fenológico 83 reduziu o comprimento (8,4 mm) e a área projetada (1,3 mm²) em relação aos demais estádios fenológicos. A atividade da enzima superóxido dismutase não foi influenciada pelos tratamentos com herbicidas. O herbicida *glyphosate* incrementa a atividade da enzima guaiacol peroxidase em 45 e 43% para ambos cultivares. As principais conclusões são: a aplicação dos herbicidas não-seletivos *glufosinate-ammonium* (350 g i.a. ha⁻¹) e *paraquat* (400 g i.a. ha⁻¹) na pré-colheita promovem maior fitointoxicação do trigo, antecipando a colheita em 4,8 e 5,3 dias, respectivamente. Há redução na produtividade e massa de sementes, não havendo viabilidade econômica para ambas cultivares avaliadas (Experimento 1); as sementes oriundas de plantas que foram desseccadas na pré-colheita têm deterioração mais acentuada e a qualidade fisiológica expressa pela germinação é prejudicada, afetando negativamente o vigor em condições ótimas e também de estresse. Não há interferência na sanidade de sementes (Experimento 2); a morfologia da parte aérea e do sistema radicular são afetados negativamente com aumento da atividade enzimática e conteúdo de peróxido de hidrogênio em plântulas provindas de sementes das plantas desseccadas na pré-colheita (Experimento 3). Portanto, a dessecação de trigo na pré-colheita com benefício de antecipar a colheita em poucos dias não se justifica.

Palavras-chave: Amônio-glufosinato. Glifosato. Herbicida. Paraquate. *Triticum aestivum* (L).

ABSTRACT

ANTICIPATION OF WHEAT HARVEST BY CHEMICAL DESICCATION AND SEED QUALITY INFLUENCE

AUTHOR: Glauber Monçon Fipke
ADVISER: Thomas Newton Martin

In order to reduce the time of exposure to abiotic factors after the physiological maturity of the wheat, pre-harvest desiccation may be a practice for obtaining quality seeds. The aim of this work was evaluated as a possibility to anticipate a wheat harvest for the application of non-selective herbicides in the pre-harvest and its effects on seed production. For this, three experiments were carried out in the *Departamento de Fitotecnia (UFES)* using *BRS Parrudo* and *TBIO Sinuelo* cultivars. The first experiment consisted of a field research evaluating the agronomic characters and the economic viability. With the seeds obtained in the first experiment, the second and third experiments were carried out under controlled conditions on seed laboratory (physical, physiological and sanitary quality) and plant physiology (seedling morphology and enzymatic activity), respectively. The treatments were distributed in a factorial experiment plus additional treatment (3x4+1). In the first factor, the herbicides (*glufosinate-ammonium*, *glyphosate* and *paraquat*) were allocated, at second factor were allocated the phenological stages for herbicide applications (83, 85, 87, 92) and control (without application). In experiment 1, the pre-harvest desiccation with non-selective herbicides in the cultivar *TBIO Sinuelo* provided a mean yield reduction of 413 kg ha⁻¹ in relation to the control; the mass of the hectoliter was not influenced; there was an average reduction of 11% in the seed mass. In experiment 2, there was an 8% and 26% reduction in germination under controlled conditions for *BRS Parrudo* and *TBIO Sinuelo*, respectively, by the use of herbicides. Soil germination was 14% higher for the control treatment. In the experiment 3, the application of herbicides at the phenological stage 83 reduced the length (8.4 mm) and the projected area (1.3 mm²) in relation to the other phenological stages. The activity of the enzyme superoxide dismutase was not influenced by herbicide treatments. The herbicide *glyphosate* increases the activity of the guaiacol peroxidase enzyme in 45 and 43% for both cultivars. The main conclusions are: the application of the non-selective herbicides *glufosinate-ammonium* (350 g a.i. ha⁻¹) and *paraquat* (400 g a.i. ha⁻¹) in the pre-harvest promoted greater phytointoxication of the wheat, anticipating the harvest in 4.8 and 5.3 days, respectively. There is a reduction in seed yield and seed mass, with no economic feasibility for both cultivars evaluated (Experiment 1); the seeds from plants that have been desiccated in the pre-harvest have deterioration more pronounced and the physiological quality expressed by the germination is impaired, negatively affecting the vigor in optimal conditions and also of stress. There is no interference in seed sanitary conditions (Experiment 2); the morphology of the shoot and the root are negatively affected by increased enzymatic activity and hydrogen peroxide content in seedlings coming from the plants seeds desiccated in the preharvest (Experiment 3). Therefore, the pre-harvest desiccation of wheat with the benefit of anticipating the harvest in a few days is not justified.

Keywords: *ammonium-glufosinate*, *glyphosate*, herbicide, *paraquate*, *Triticum aestivum* (L).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

INTRODUÇÃO

Quadro 1 - Limites máximo de resíduos de agrotóxicos (mg i.a. kg ⁻¹ de trigo) nos principais centros tritícolas mundiais.....	20
--	----

ARTIGO 1

Quadro 1 - Análise química do solo da área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria.....	25
Quadro 2 - Características das cultivares de trigo utilizados no experimento.....	28
Quadro 3 - Detalhamento do custo para realização de uma aplicação de agrotóxico.....	30
Figura 1 - Insolação, precipitação pluvial, evapotranspiração real e temperatura média para a cidade de Santa Maria, RS, Brasil. Dados de 2016 e 2017.....	26
Figura 2 - Fitointoxicação de trigo submetido a aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita nas safras de 2016 (a) e 2017 (b) e antecipação do ponto de colheita após a aplicação dos herbicidas e relativa ao tratamento sem aplicação.....	33
Figura 3 - Produtividade relativa e viabilidade econômica na comercialização de sementes de trigo [BRS Parrudo (a) e TBIO Sinuelo (b)] submetido a aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita nas safras de 2016 e 2017.....	37

ARTIGO 3

Figura 1 - Morfologia de parte aérea: comprimento (a, b), e área projetada (c, d) de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos.....	74
Figura 2 - Morfologia de raízes: comprimento (a, b), área superficial (c, d), diâmetro médio (e, f) e volume (g, h) de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos.....	76
Figura 3 - Conteúdo de peróxido de hidrogênio na parte aérea de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos.....	77
Figura 4 - Atividade da enzima superóxido dismutase na parte aérea (a, b) e raízes (c, d) de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos.....	78
Figura 5 - Atividade da enzima guaiacol peroxidase na parte aérea (a, b) e raízes (c, d) de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos.....	79

DISCUSSÕES

Figura 1 - Equação linear representativa dos dias de antecipação de colheita (em relação a testemunha) proporcionados pela dessecação na pré-colheita do trigo e a interferência na produtividade de grãos e massa de mil sementes.....	88
Figura 2 - Vigor de sementes expressa pela primeira contagem do teste de germinação (a), teste de frio (b) e envelhecimento acelerado (c) e a germinação (d) de sementes de trigo oriundas de plantas de trigo que foram desseçadas na pré-colheita.....	89
Figura 3 - Morfologia expressa pelo comprimento da parte aérea (a) e raízes (b), área projetada da parte aérea (c), área superficial de raízes (d) área total de plântulas de trigo provindas de sementes das plantas desseçadas na pré-colheita.....	90

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Tabela 1 - Resumo da análise de variância conjunta representado pelos quadrados médios dos caracteres de trigo (BRS Parrudo e TBIO Sinuelo) submetido a aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita nas safras de 2016 e 2017.....31
- Tabela 2 - Componentes da produtividade de trigo (BRS Parrudo e TBIO Sinuelo) submetido a aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita nas safras de 2016 e 2017....35

ARTIGO 2

- Tabela 1 - Description of the characteristics of the seed cultivars.....52
- Tabela 2 - Summary of the analysis of variance represented by the mean squares and estimates of the contrasts of treatments with non-selective herbicides applied in the wheat pre-harvest (BRS Parrudo) versus the treatment without application of the characters related to the physical and physiological quality of seeds.....54
- Tabela 3 - Summary of the analysis of variance represented by the mean squares and estimates of the contrasts of treatments with non-selective herbicides applied in the wheat pre-harvest (TBIO Sinuelo) versus the treatment without application of the characters related to the physical and physiological quality of seeds.....55
- Tabela 4 - Characters related to seedling morphology and physiological quality of wheat (BRS Parrudo and TBIO Sinuelo) with application of non-selective herbicide in the pre-harvest.....56
- Tabela 5 - Characters related to seedling morphology and physiological quality of wheat (BRS Parrudo and TBIO Sinuelo) emerged in soil with application of non-selective herbicide in the pre-harvest.....57
- Tabela 6 - Characters related to seed vigor in stress conditions of wheat (BRS Parrudo e TBIO Sinuelo) with application of non-selective herbicide in the pre-harvest.....58
- Tabela 7 - Percentage of incidence of wheat pathogens (BRS Parrudo and TBIO Sinuelo) and estimates of the contrasts of treatments with non-selective herbicides applied in the wheat pre-harvest (Z-92 stage) versus the treatment without application.....59

ARTIGO 3

- Tabela 1 - Resumo da análise de variância representada pelos quadrados médios e resultados dos contrastes entre os tratamentos com aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita *versus* o tratamento sem aplicação sobre os caracteres relacionados a morfologia de plântulas de trigo.....72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Triticultura e produção de sementes	15
2.2 Aplicação de herbicidas de ação total	16
2.2.1 Inibidores da enzima EPSPs	16
2.2.2 Inibidores da enzima glutamina sintetase	17
2.2.3 Inibidores da fotossíntese no fotossistema I	18
2.3 Dessecação na pré-colheita e a qualidade de sementes	18
2.4 Resíduos de agrotóxicos em alimentos.....	19
3 ARTIGO 1 - ANTECIPAÇÃO DE COLHEITA, PRODUÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA DE SEMENTES DE TRIGO PELA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS NÃO-SELETIVOS.....	21
4 ARTIGO 2 - APPLICATION OF NON-SELECTIVE HERBICIDES IN THE PRE- HARVEST OF WHEAT DAMAGES SEED QUALITY	48
5 ARTIGO 3 - MORFOLOGIA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE PLÂNTULAS ORIGINÁRIAS DE TRIGO DESSECADO NA PRÉ-COLHEITA.....	66
6 DISCUSSÕES	87
7 CONCLUSÕES.....	93
REFERÊNCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

A viabilidade da triticultura brasileira tem sido questionada por técnicos e produtores nos últimos anos, principalmente a partir dos anos 2000. Redução de área semeada, baixa qualidade tecnológica e produtividade de grãos são situações corriqueiras para a região sul do país, destaque na produção desse cereal. Vários aspectos contribuem para este fato, dentre eles, as condições comerciais desfavoráveis em relação ao produto importado; elevação dos custos de produção; presença constante de intempéries climáticas; dentre outros.

No sul do Brasil, a qualidade/quantidade da produção tem sido influenciada negativamente pelo clima, principalmente pela ocorrência de geadas no período reprodutivo e chuvas no período de colheita da cultura. Portanto, seria prudente proporcionar que estas épocas coincidam com a cultura do trigo em um estágio fenológico mais rústico e que tolere esse tipo de intempérie climática. Para isso é necessário posicionar corretamente a época de semeadura pois o avanço dos estádios fenológicos do trigo depende exclusivamente de acúmulo térmico. Como exemplo, a região homogênea de adaptação de cultivares (RHAC) número 2, de clima moderadamente quente e úmido. A indicação de semeadura para todos os tipos de solo nessa região compreende os dias 21 de maio e 10 de julho (BRASIL, 2018). Partindo da lógica exposta, semear a cultura ao final do período indicado seria suficiente para que as épocas de geada mais usuais na região coincidam com os períodos vegetativos da cultura.

A cultura da soja por outro lado, está em constante ascendência em representatividade de área e produtividade de grãos. Com isso, o investimento em biotecnologia faz com que a base genética, ou seja, as cultivares propriamente ditas, sejam modificadas frequentemente. Há uma tendência pela utilização de cultivares precoces, de tipo de crescimento indeterminado, com alto potencial produtivo e até mesmo, adaptação de cultivo em meses não tradicionais. Assim, a antecipação de semeadura da soja tem sido praticada em várias regiões do sul do país. Nessas regiões, ambos cultivos - trigo no inverno e soja no verão - apresentam sobreposição em suas épocas preferenciais de cultivo, ou seja, a maturação do trigo coincide com a semeadura da soja. Dessa forma, não seria nenhum equívoco afirmar que o agricultor priorizaria melhores condições para o estabelecimento da soja em detrimento da cultura do trigo. Por muitas vezes, o trigo tem deixado o sistema de produção, sendo substituído por alguma outra gramínea de cobertura de solo para o fornecimento de palhada para o plantio direto da soja.

No que diz respeito aos aspectos técnicos da produção de trigo são necessárias novas estratégias de manejo para provar sua importância no sistema. Manejar a cultura de forma adequada para maximização da produção tem potencial para incrementos econômicos. Primar

pelo aumento da qualidade de sementes para abastecer as áreas de cultivo pode auxiliar na redução dos custos de produção. Promover a colheita da cultura antecipadamente, tão logo após a maturação fisiológica, também evitaria a disputa da ocupação de área com a cultura da soja. Na pré-colheita do trigo, manejar a infestação de plantas daninhas de difícil controle para a cultura subsequente seria outra alternativa.

A partir do exposto, a utilização de herbicidas não-seletivos aplicados na pré-colheita do trigo torna-se uma alternativa. A partir dos resultados obtidos, poderá ser possível confirmar algumas hipóteses, tais como: antecipar a colheita de trigo pela dessecação química, não havendo influência sobre a produtividade de grãos e conseqüentemente, prejuízo econômico; não haverá interferência na produção de sementes de qualidade, mantendo seu potencial fisiológico; a partir de sementes provindas de plantas dessecadas na pré-colheita, poderão ser obtidas plântulas normais do ponto de vista morfológico e bioquímico. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de antecipar a colheita do trigo pela aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita e seus reflexos na produção de sementes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TRITICULTURA E PRODUÇÃO DE SEMENTES

A área cultivada com trigo na região sul representa 89% da produção nacional, destacando-se o Rio Grande do Sul (RS) com produção superior a 1,2 milhões de Mg de grãos em área próxima de 699 mil ha (CONAB, 2018). O Brasil é autossuficiente na produção de alimentos principalmente para aquelas principais espécies produtoras de grãos. O trigo é uma das espécies que se tem déficit de produção, possuindo uma demanda anual de 12,6 milhões Mg, incluindo aquele utilizado para sementes (ABITRIGO, 2018). Estima-se que a taxa efetiva de utilização de sementes no estado do RS seja próxima de 897 mil kg, sendo 25% abaixo do consumo potencial de sementes para a área de cultivo (ABRASEM, 2018). Assim, pode-se afirmar que há interesse socioeconômico em aumentar a produção de trigo, visto que, há demanda por grãos e sementes, atualmente suprida pelas exportações (MENDONÇA et al., 2013).

As perdas na produção de sementes podem ocorrer tanto em quantidade quanto em qualidade, porém, na maioria das vezes elas se relacionam e são condicionadas a alguns fatores bióticos e abióticos. Em quantidade as perdas podem ocorrer pelo mau uso da colhedora, assim como, pelo ataque de pássaros, chuva, granizo, insetos, dentre outras. As perdas em qualidade geralmente estão condicionadas aos fatores ambientais, de solo, práticas culturais de defesa fitossanitária, clima, genótipo cultivado, dentre outras. Todas essas características são inerentes à aptidão do trigo para uso industrial, bem como, para produção de sementes (PIRES et al., 2011). Durante a pré-colheita da cultura do trigo os índices pluviométricos, por exemplo, são elevados no início da primavera no sul do Brasil (CARVALHO; BELEIA, 2015), coincidindo com períodos de enchimento de grãos e colheita.

Com a maturação fisiológica a translocação de fotoassimilados da planta para a semente é cessada e se dá início ao processo de perda de água destes órgãos. Este período consiste no ponto de máxima qualidade em termos de vigor, germinação pelo máximo acúmulo de reservas (MARCOS-FILHO, 2015) Contudo, o conteúdo de água ainda é alto (40%) para a colheita mecanizada (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). A umidade favorece a atividade metabólica mais intensa, proporcionando ambiente adequado ao desenvolvimento de fungos e o ataque de insetos conduzindo a deterioração rápida (HENNING et al., 2011). Fatores ambientais como temperatura extremas, precipitação pluvial e umidade relativa acentuam essa deterioração. Assim, uma maneira de evitar que esses fatores interfiram na qualidade/quantidade do produto é reduzir seu tempo de exposição (PEREIRA et al., 2015).

2.2 APLICAÇÃO DE HERBICIDAS DE AÇÃO TOTAL

Os herbicidas podem ser classificados de diferentes formas quanto seu local de ação, mobilidade na planta, época de aplicação, caráter iônico, dentre outras. Usualmente é utilizado o mecanismo de ação (MA) para distingui-los, conforme os princípios do Comitê de Ação à Resistência a Herbicidas (Herbicide Resistance Action Comitee, HRAC) (ROMAN et al., 2007). Os MA representam o primeiro evento metabólico (sítio de ação) das plantas onde atuam. Este sítio, pode ser enzimático quando a ação do herbicida ocorre sobre alguma enzima do metabolismo da planta, ou não-enzimático quando a ação do herbicida ocorre sobre algum evento metabólico da planta sem ocorrer a ligação com uma enzima específica (SHERWANI; ARIF; KHAN, 2015).

Herbicidas não seletivos tem amplo espectro de ação, sendo capazes de provocar injúrias irreversíveis nas plantas. São utilizados para o manejo de plantas daninhas em áreas de sistema de semeadura direta e também para a dessecação na pré-colheita das culturas (OLIVEIRA Jr., 2011).

2.2.1 Inibidores da enzima EPSPs

São herbicidas que inibem a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs). A enzima EPSPs é sintetizada no citoplasma, mas atuante no cloroplasto. É responsável por catalisar a conversão de chiquimato-3-fosfato em 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato + fósforo inorgânico (Pi), utilizando fosfoenolpiruvato (PEP) como substrato. Inibidores da EPSPs competem com o PEP, causando aumento na concentração de chiquimato nos vacúolos das plantas sensíveis (não transgênicas, Roundup Ready[®]) e inibindo a síntese de corismato. O corismato é precursor dos aminoácidos aromáticos essenciais fenilalanina, tirosina e triptofano (CARVALHO, 2013).

A inibição da enzima EPSPs também interfere no controle de entrada de carbono na via do chiquimato, causando dreno considerável de carbono produzido na fotossíntese, acumulando chiquimato e reduzindo drasticamente a produção fotossintética de sacarose. Com isso, ocorre redução na eficiência fotossintética e inibição da síntese de aminoácidos aromáticos. Esses aminoácidos, por sua vez, são precursores de outros compostos, como lignina, alcaloides, flavonoides, ácidos benzoicos e outros compostos aromáticos envolvidos em mecanismos de defesa da planta, além de serem requeridos na síntese de proteínas, vitaminas K e E, hormônios (auxina, etileno), antocianina e vários outros metabólitos secundários (OLIVEIRA Jr., 2011).

A translocação do *glyphosate* pelo floema segue a mesma rota dos açúcares produzidos na fotossíntese, deslocando-se das folhas para as raízes ou frutos, onde serão utilizados na respiração, assimilação ou acumulação depois de sua conversão a substâncias como amido, por exemplo. O *glyphosate* é altamente solúvel em água e pouco solúvel em solventes orgânicos e sua volatilidade é baixa. É um ácido fraco e perde prótons em função do pH. Portanto, pode ser carregado pela membrana celular por um carreador fosfato, uma proteína localizada na membrana plasmática que normalmente transporta fosfato para o interior da célula (ROMAN et al., 2007).

2.2.2 Inibidores da enzima glutamina sintetase

São herbicidas que inibem a enzima glutamina sintetase (GS) nas plantas sensíveis (não transgênicas, Liberty Link[®]). A enzima GS catalisa a conversão do glutamato em glutamina durante o processo de incorporação da amônia (NH₃ – usada como substrato). Assim, a amônia formada pela redução de nitratos, além da fotorrespiração e do metabolismo de aminoácidos, é incorporada ao glutamato, com gasto de ATP, formando glutamina (SHERWANI; ARIF; KHAN, 2015).

A falta de glutamina provoca a inibição da síntese de aminoácidos, como asparagina, histidina e triptofano. Consequentemente ocorre acúmulo de amônia e glutamato no cloroplasto das células foliares. A amônia em excesso provoca um efeito tóxico. Com o acúmulo de glutamato, há aumento na conversão desse composto em α -cetoglutarato (em uma reação inversa à produção de glutamato). No peroxissoma, durante a fotorrespiração, glioxilato é convertido em glicina (reação principal), mas também pode ser convertido em α -cetoglutarato (reação secundária), usando glutamato como substrato. Como há acúmulo de α -cetoglutarato, a reação de síntese desse composto por meio de glioxilato e glutamato não ocorre. Assim, há acúmulo também de glioxilato nos tecidos foliares. O glioxilato é um potente inibidor da Rubisco, causando, assim, bloqueio da fixação de CO₂ na fotossíntese, com consequente produção de radicais livres de oxigênio, acarretando destruição da membrana e perda da sua função (ROMAN et al., 2007).

Dessa maneira, todo o conjunto de efeitos descritos como o acúmulo de amônia, a inibição na síntese de aminoácidos (precursores de proteínas), a produção de radicais livres (com consequente destruição de membranas) e o bloqueio na fotossíntese, acaba levando a planta à morte (CARVALHO, 2013). O *glufosinate-ammonium* é altamente solúvel em água e tem comportamento de ácido fraco e não é volátil. Apesar destas características a translocação dentro da planta é limitada pois compromete a integridade da célula pela formação de agentes

tóxicos e inibição de fotossíntese. Portanto, sua ação pode ser considerada tópica, ou seja, de contato (SILVA, FERREIRA; FERREIRA, 2007).

2.2.3 Inibidores da fotossíntese no fotossistema I

São herbicidas não enzimáticos que desviam o fluxo de elétrons no FSI. O fluxo de elétrons não é bloqueado (como os inibidores do FSII), ocorre a captação de elétrons das ferredoxinas (FD, FDs e FP), ou seja, atuando como um “falso aceptor de elétrons”.

Esses elétrons são repassados por meio do herbicida (que atua como catalisador do processo), para o oxigênio, originando formas tóxicas (radicais livres) e altamente reativas com radicais hidroxil – as espécies reativas ao oxigênio (ERO's). Os radicais rompem ligações de proteínas e lipídeos das membranas, que perdem sua função e permitem o vazamento do conteúdo celular. Com a paralisação da redução da ferredoxina também ocorre a perda do estado de equilíbrio bioquímico natural pela ausência de substâncias reduzidas (OLIVEIRA Jr., 2011). Uma pequena atividade destes produtos é observada também na fase de assimilação da fotossíntese (erroneamente chamada de “fase escura”). Nesta condição, estes herbicidas capturam os elétrons provenientes da respiração, para formarem os radicais tóxicos (WELLER, 2003).

Também é descrita uma rota de absorção ativa de *paraquat* por meio de carreadores de putrescina. Este, é um composto que participa direta e indiretamente de várias vias metabólicas importantes para o funcionamento celular. Com isso, há o reconhecimento a distância entre as cargas positivas dos grupamentos amina da molécula de *paraquat*, o qual compete com o composto para ser absorvido pela célula (CARVALHO, 2013). O *paraquat* são moléculas altamente solúveis em água, catiônicos, caracterizados por serem bases extremamente fortes, não apresentando cargas dependentes de pH. A rápida ação destas moléculas limita sua movimentação na planta, sendo considerado tópico (ROMAN et al., 2007).

2.3 DESSECAÇÃO NA PRÉ-COLHEITA E A QUALIDADE DE SEMENTES

A dessecação na pré-colheita pode ser usada para acelerar a perda de umidade, aliando-se ao benefício do manejo de plantas daninhas de difícil controle (GRIFFIN; BOUDREAX; MILLER, 2010). Com isso é proporcionada antecipação da colheita e conseqüentemente, desocupação da área de cultivo para a cultura subsequente (PEREIRA et al., 2015). Alguns aspectos importantes referentes à espécie vegetal e ao ingrediente ativo do herbicida a ser utilizado precisam ser considerados para a realização desse manejo (LACERDA et al., 2005). Para os cereais de inverno, poucos resultados têm sido relatados quanto a escolha do mecanismo

de ação e doses do herbicida a ser utilizado, estágio fenológico em que deve ser aplicado, sua influência na produção, a ocorrência de resíduos de agrotóxicos, a qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes, dentre outros (CALVIÑO et al., 2002; SANTOS; VICENTE, 2009).

Pesquisas mais recentes com a cultura do trigo têm estudado a influência sobre as sementes. Herbicidas aplicados na pré-colheita podem afetar negativamente a qualidade física das sementes, como a redução na massa de sementes decorrente da aplicação de *glufosinate-ammonium* na cultivar CD 140 no estado do Paraná (KRENCHINSKI et al., 2017). Quanto a qualidade fisiológica, são relatadas redução na germinação de sementes pela utilização de *paraquat* em trigo de primavera nas condições do sul do Brasil (BELLÉ et al., 2014) e *glyphosate* em trigo de inverno na Europa (JASKULSKI; JASKULSKA, 2014), ambos, aplicados no estágio de grão pastoso.

Devido a interferência no potencial fisiológico, são necessários mais estudos para aprofundar as causas dessa interação. Plântulas germinadas em condições controladas provindas dessas sementes, apresentam redução no comprimento do sistema radicular e da parte aérea (FIPKE et al., 2018). Associando essa má formação de estruturas morfológicas ao mecanismo de ação utilizado, podemos exemplificar com o *paraquat*. Esse ingrediente ativo induz a formação de ERO's, compostos que atacam proteínas estruturais das células, consequentemente, modificando diversos processos fisiológicos devido ao estresse oxidativo. Esse estresse, corresponde a um estado em que há uma elevada produção de ERO's, onde os mecanismos celulares pró-oxidantes superam os antioxidantes (TABALDI et al., 2007). Para tanto, justifica-se a importância de mensurar a atividade enzimática e estresse oxidativo do material oriundo da dessecação.

2.4 RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS EM ALIMENTOS

O uso de agrotóxicos contribuiu para a expansão da agricultura com geração de benefícios no manejo da cultura. Em contrapartida, o uso indiscriminado destes compostos químicos contribui para contaminação de solo, água e alimentos. Por isso, a determinação dos níveis residuais de agrotóxicos em produtos agropecuários, proporciona uma estimativa da exposição humana e do meio ambiente a estes compostos, permitindo avaliar a conformidade da produção com as boas práticas agrícolas (PRESTES et al., 2009).

Todo agente químico pode proporcionar efeito tóxico à humanos devido sua ingestão ou exposição por períodos prolongados. Os agrotóxicos, por exemplo, possuem parâmetros de segurança como a Ingestão Diária Aceitável (IDA) ou a Dose de Referência Aguda (DRfA). Seguindo as normativas desenvolvidas na Europa, deve ser levado em consideração a exposição

a múltiplos resíduos de agrotóxicos presentes nos diferentes alimentos ingeridos durante uma refeição, durante o dia ou ao longo da vida (ANVISA, 2015).

A “Food and Agriculture Organization of the United Nations” (FAO) estabeleceu limites máximos de resíduos (LMR) de agrotóxicos para cada tipo de alimento por meio da plataforma “Codex Alimentarius”. Esses limites servem principalmente para o comércio de produtos entre países. Entretanto, muitos países, assim como o Brasil, estabelecem seus próprios LMR, neste caso, estabelecido pela “Agência Nacional de Vigilância Sanitária” (ANVISA) (Quadro 1). Porém, devido a diversidade do meio de produção quanto ao controle de pragas (plantas daninhas, insetos e doenças) os limites de IDA são diferentes para cada localidade (LIMA; CORRÊA, 2012). Por exemplo: a principal fonte de carboidratos no Brasil é o arroz; na Itália são as massas (produzidas a partir da farinha de trigo), conseqüentemente os limites de IDA para o arroz produzido em nosso país são menores em relação ao país Europeu.

Quadro 1. Limites máximo de resíduos de agrotóxicos (mg i.a. kg⁻¹ de trigo) nos principais centros tritícolas mundiais.

i. a. ¹	BR ²	AR ³	UE ⁴	UK ⁵	CA ⁶	EUA ⁷	AU ⁸	CH ⁹	FAO ¹⁰
<i>glufosinate</i>	0,5	0,0	0,03	0,03	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0
<i>glyphosate</i>	0,05	5	10	10	5	30	5	5	30
<i>paraquat</i>	0,01	0,05	0,02	0,02	0,0	1,1	0,05	0,0	0,0

¹ingrediente ativo (i.a.), apenas os herbicidas utilizados no trabalho de tese.

²Brasil (BR): <http://portal.anvisa.gov.br/registros-e-autorizacoes/agrotoxicos/produtos/>

³Argentina (AR): <http://www.iscamen.com.ar/rojo/lmr.asp?activo=>

⁴União Européia (EU): <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides>

⁵Reino Unido (UK): <https://secure.pesticides.gov.uk/MRLs/search.asp>

⁶Canadá (CA): <http://pr-rp.hc-sc.gc.ca/mrl-lrm/index-eng.php>

⁷Estados Unidos da América (EUA): <https://globalmrl.com/db#query>

⁸Austrália (AU): <https://apvma.gov.au/node/10806>

⁹China (CH): <http://202.127.42.84/tbt-sps/mrlsdb/mrlsdb.do>

¹⁰Food and Agriculture Organization (FAO): <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/>

3 ARTIGO 1 - ANTECIPAÇÃO DE COLHEITA, PRODUÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA DE SEMENTES DE TRIGO PELA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS NÃO-SELETIVOS

RESUMO - A dessecação na pré-colheita é uma prática adotada para promover melhores condições de colheita e possibilitar o cultivo subsequente em épocas adequadas. Objetivou-se com a presente pesquisa avaliar a possibilidade de antecipar a colheita do trigo pela aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita proporcionando viabilidade produtiva e econômica. Para isso, foram conduzidos dois experimentos na cidade de Santa Maria, RS, Brasil. Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos das combinações de herbicidas (*glufosinate-ammonium*, *glyphosate* e *paraquat*) e estádios fenológicos de aplicação (Z-83, Z-85, Z-87, Z-92), acrescidos de um tratamento sem aplicação, totalizando 13 tratamentos. Foram proporcionadas condições de colheita após a aplicação dos herbicidas *glufosinate-ammonium* (9,5 e 8,8 dias), *glyphosate* (11,2 e 10,9 dias) e *paraquat* (7,9 e 8,5 dias), para as safras de 2016 e 2017, respectivamente. A aplicação nos dois primeiros estádios fenológicos proporcionou redução média de 4,6% (BRS Parrudo) e de 25,4% (TBIO Sinuelo) na produtividade de sementes. A redução econômica foi variada podendo atingir até R\$ 2512 ha⁻¹. A aplicação dos herbicidas não-seletivos *glufosinate-ammonium* (350 g i.a. ha⁻¹) e *paraquat* (400 g i.a. ha⁻¹) na pré-colheita promovem maior fitointoxicação do trigo, antecipando a colheita em 4,8 e 5,3 dias, respectivamente. Há redução na produtividade e massa de sementes, não havendo viabilidade econômica para ambas cultivares avaliadas.

Palavras-chave: amônio-glufosinate, dessecante, glifosato, paraquate, *Triticum aestivum* (L).

ANTICIPATION OF HARVESTING, YIELD AND ECONOMIC FEASIBILITY OF WHEAT SEEDS BY THE APPLICATION OF NON-SELECTIVE HERBICIDES

ABSTRACT - Preharvest desiccation is a practice used to promote better harvest conditions and allow subsequent cultivation at suitable times. The objective of this work was to evaluate the possibility of anticipating the wheat harvest by the application of non-selective herbicides in the pre-harvest, providing productive and economic viability. For that, two experiments were conducted in the city of Santa Maria, RS, Brazil. A randomized block design with five replications was used. The treatments were composed of the combination of herbicides (*glufosinate-ammonium*, *glyphosate* and *paraquat*) and application in phenological stages (Z-83, Z-85, Z-87, Z-92), plus a treatment without application, totaling 13 treatments. Harvest conditions were provided after the application of the herbicides *glufosinate-ammonium* (9.5 and 8.8 days), *glyphosate* (11.2 and 10.9 days) and *paraquat* (7.9 and 8.5 days) for the year 2016 and 2017, respectively. The application in the first two phenological stages provided a mean reduction of 4.6% (BRS Parrudo) and 25.4% (TBIO Sinuelo) in seed yield. The economic damage was varied, reaching up to R\$ 2512 ha⁻¹. The application of the non-selective herbicides *glufosinate-ammonium* (350 g a.i. ha⁻¹) and *paraquat* (400 g a.i. ha⁻¹) in the pre-harvest promoted greater phytointoxication of the wheat, anticipating the harvest in 4.8 and 5.3 days, respectively. There is a reduction in seed yield and seed mass, with no economic feasibility for both cultivars evaluated.

Key-words: *glufosinate-ammonium*, *glyphosate*, *paraquat*, *Triticum aestivum* (L).

INTRODUÇÃO

O melhor aproveitamento das estações de cultivo com culturas de inverno-verão é fundamental para obtenção de uma agricultura sustentável. O binômio trigo-soja é um exemplo consolidado, principalmente no sul do Brasil devido o clima ser propício para ambos cultivos. Porém, vem perdendo espaço já que dos mais de 5,6 milhões de hectares onde se cultiva soja no Rio Grande do Sul (RS), apenas 8,18% desta área é destinada para a produção de trigo no inverno (CONAB, 2018). Visando a maximização da produção das culturas agrícolas é necessário que as condições edafoclimáticas coincidam com as melhores condições ecofisiológicas para as plantas. Nesse sentido, a época de semeadura correta é uma das primeiras estratégias de manejo a ser adotada. Porém, em algumas regiões como no nordeste do RS, a colheita do trigo tem coincidido com a época preferencial de semeadura da soja. Essa entre outras mudanças no sistema de produção tem indicado a revisão da viabilidade técnica e econômica do binômio trigo-soja (PIRES et al., 2016).

A maior predisposição da cultura do trigo a riscos por danos ocasionados por geadas no espigamento/floração são proporcionados pela semeadura antecipada (CUNHA et al., 2011). Para contornar essa situação a época preferencial de semeadura tem se concentrado da metade para o final do intervalo indicado pelo zoneamento agroclimático (EMBRAPA, 2017). Além disso, a introdução no mercado e utilização em larga escala de cultivares superprecoces de soja, também tem modificado a época preferencial de cultivo, antecipando para meses não tradicionais. Assim, ambos cultivos (trigo e soja) seriam penalizados em produtividade/qualidade, pois há sobreposição do período de ocupação da área (CALVIÑO et al., 2002).

Considerando-se a semeadura de soja no verão, a substituição da cultura do trigo por outra gramínea de cobertura de solo no inverno, como a aveia preta, se mostrou menos interessante, uma vez que o retorno econômico anual por área é menor (CARAFFA et al., 2016). A colheita antecipada da cultura do trigo com umidades da massa de grãos próximo a 30% não implica em perda do potencial produtivo (CARNEIRO et al., 2005), porém há o custo da operação de secagem para posterior armazenamento e industrialização das sementes. Tentando viabilizar o sistema, algumas pesquisas têm utilizado herbicidas não-seletivos como desseccantes para antecipar o ponto de colheita da cultura (YENISH; YOUNG, 2000). Esta prática pode configurar em uma alternativa a ser explorada para produção de sementes, visto que, não reduziram a produtividades de grãos de trigo (BELLÉ et al., 2014). Benefícios indiretos podem ser disponibilizados com a dessecação na pré-colheita, como por exemplo, proporcionar maior rendimento da operação de colheita mecanizada e controle de plantas daninhas de ocorrência tardia (GRIFFIN; BOUDREAUX; MILLER, 2010).

Os herbicidas são comumente agrupados pelo modo de ação, que envolvem a interrupção, injúria ou desintegração de enzimas ou sistema biológico, alterando o crescimento e desenvolvimento da planta. Os herbicidas não-seletivos têm uso amplo na agricultura na pré-semeadura das culturas agrícolas, e em alguns casos específicos, na pré-colheita. O herbicida Finale[®] (*glufosinate-ammonium*) interfere no metabolismo do nitrogênio; diretamente inibindo a atividade da enzima glutamina sintetase, responsável por converter glutamato e amônia em glutamina e; indiretamente pela destruição da célula e as reações dos fotossistemas pelo acúmulo de altos níveis de amônia. O herbicida Stinger[®] (*glyphosate*) interfere na biossíntese de aminoácidos aromáticos (triptofano, tirosina e fenilalanina), inibindo a atividade da enzima EPSPs (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) que faz parte da via do ácido chiquímico. O herbicida Gramoxone[®] (*paraquat*) atua como acceptor de elétrons no fotossistema I, caracterizando-se por ser um disruptor da membrana celular ocasionado pelo acúmulo de

espécies reativas ao oxigênio (JABLONKAI, 2011; SHERWANI; ARIF; KHAN, 2015). No Brasil, somente o herbicida Finale[®] tem registro para utilização na pré-colheita do trigo (BRASIL, 2017). Porém, há relatos da utilização de outros herbicidas (proibidos) em áreas tritícolas, principalmente por questões econômicas na aquisição do agrotóxico. Cada país define seus limites máximos de resíduos de agrotóxicos nos alimentos, servindo para comércio interno e externo (KOLBERG et al., 2011). Esses limites são embasados na ingestão diária do resíduo em cada tipo de alimento e interferem na regulamentação do período de carência dos agrotóxicos em geral.

Algumas culturas apresentam viabilidade, e até mesmo, recomendação técnica para dessecação na pré-colheita, como: soja (PEREIRA et al., 2015), feijão (PINTO et al., 2014), canola (SILVA et al., 2011), azevém (CAMPOS et al., 2012), cevada (CAIERÃO; ACOSTA, 2007), dentre outras. Para a cultura do trigo, poucos resultados têm sido relatados quanto a escolha do mecanismo de ação (KRENCHINSKI et al., 2017), a dose de ingrediente ativo por área (NARDI FILHO, 2013) e a definição do momento de aplicação (LUNKES, 2014). Também, precisam ser elucidados aspectos quanto o impacto sobre os caracteres de produção (SANTOS; VICENTE, 2009), qualidade tecnológica (MANTHEY et al., 2004), qualidade física, fisiológica e sanitária (JASKULSKI; JASKULSKA, 2014), residual de agrotóxicos (GARCIA-FEBRERO et al., 2014), dentre outras.

Torna-se necessário investigar os efeitos da dessecação na pré-colheita de trigo, uma vez que a prática tem sido mais frequente em lavouras comerciais, com uso de produtos proibidos e falta de acompanhamento técnico para definição do momento correto de aplicação. Aspectos produtivos e econômicos precisam ser elucidados, pois há um incremento de custo, de aquisição e aplicação do herbicida quando da realização desta prática. Atualmente, não se encontram na literatura informações que condizem com o sistema de produção atual, envolvendo genótipos e custos de produção. Com base no exposto, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar a possibilidade de antecipar a colheita do trigo pela aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita proporcionando viabilidade produtiva e econômica.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do local

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizado na referida cidade, região Central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, situado a 29°42' de latitude sul, 53°42' de longitude oeste e 116

metros de altitude. O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2013) (*sandy clay loam Acrisol*, pela classificação da FAO). A análise química do solo foi amostrada nas camadas de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m e os dados são apresentados no Quadro 1. O clima da região (RS) conforme a classificação de Köppen é 86,7% e 13,3% do tipo Cfa e Cfb, respectivamente (ALVARES et al., 2013), subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). Os dados meteorológicos referentes aos meses de condução do experimento são representados na Figura 1.

Quadro 1. Análise química do solo da área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. Amostrada nas camadas de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.

Ano	Amostragem (m)	pH	SMP	MO	ARG	P	K	H+Al	CTC	BASES
2016	0,0-0,1	5,0	5,1	2,9	28	19,0	68,0	12,3	19,7	37,7
	0,1-0,2	4,6	4,6	1,9	31	4,1	52,0	21,8	26,3	17,0
2017	0,0-0,1	5,5	5,9	2,4	24	31,6	108,0	4,9	13,4	63,6
	0,1-0,2	4,7	5,3	1,8	31	8,8	52,0	9,7	14,3	32,3

pH (água, 1:1), SMP=índice SMP para recomendação de correção de acidez, MO=matéria orgânica (% m/v), ARG=argila (% m/v), P=fósforo (P-Mehlich, mg dm⁻³), K=potássio (mg dm⁻³), H+Al=hidrogênio+alumínio (cmol_cdm⁻³), CTC=capacidade de troca de cátions (pH 7, cmol_c dm⁻³), BASES=saturação de bases (%).

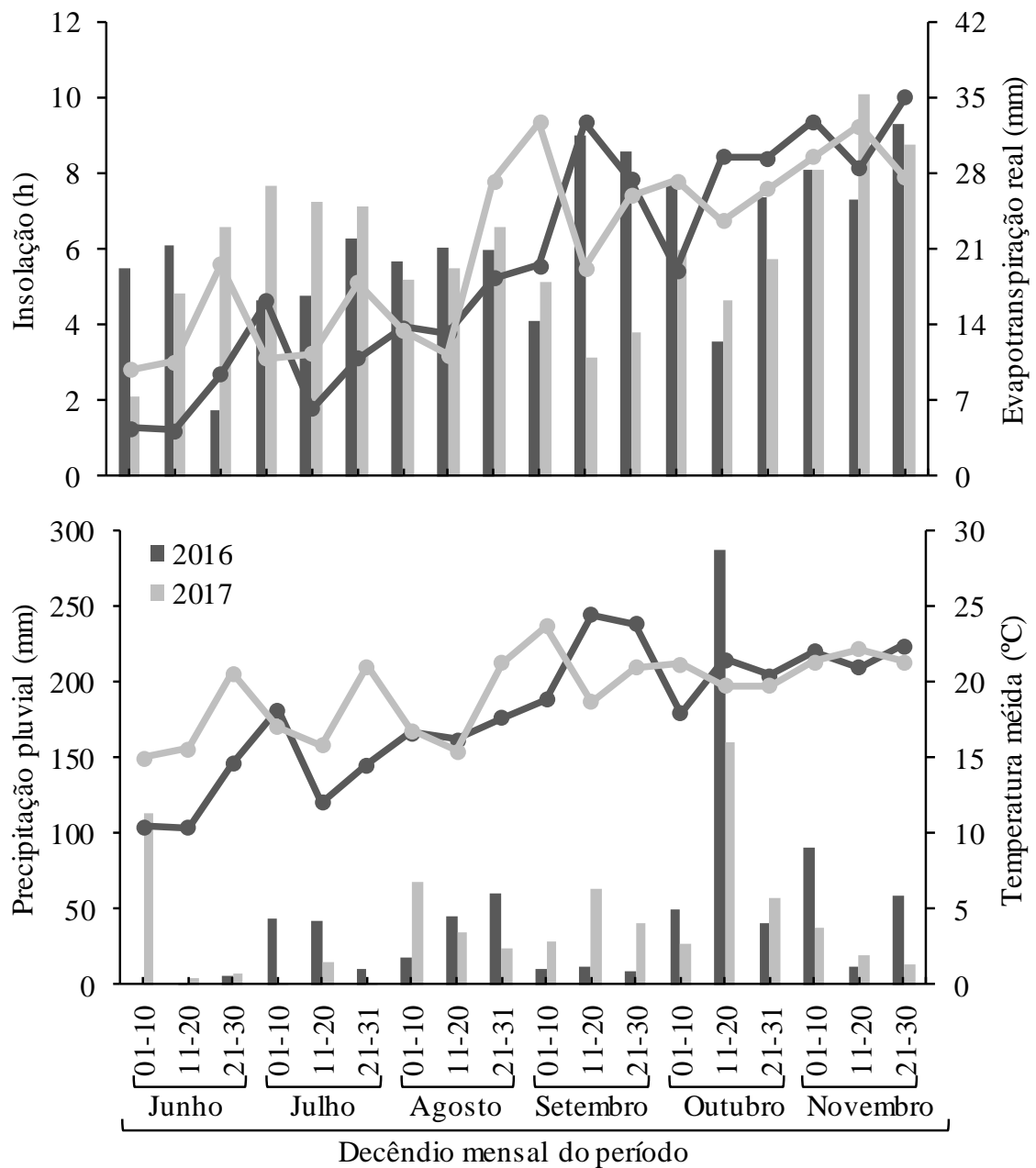


Figura 1. Insolação, precipitação pluvial (barras), evapotranspiração real e temperatura média (linhas) para a cidade de Santa Maria, RS, Brasil. Dados representados por decêndio mensal durante o período dos experimentos nas safras 2016 e 2017 (INMET, 2018).

Manejo geral de campo

Anteriormente a implantação do experimento foi realizada a dessecação das plantas daninhas voluntárias com herbicida *glyphosate* [(Roundup[®], 1440 g de ingrediente ativo (i.a.) ha⁻¹] aos 45 dias anteriores à semeadura. Foram utilizados duas cultivares de trigo (Quadro 2). Para o tratamento fitossanitário de sementes utilizou-se inseticida *imidacloprid* + *thiodicarb* (Cropstar[®], 0,45 e 1,35 g i.a. kg⁻¹ de sementes), fungicida *triadimenol* (Baytan[®], 0,405 g i. a. kg⁻¹ de semente). A semeadura foi realizada nos dias 23/06/2016 e 22/06/2017, com semeadora

de disco com dosador de sementes e fertilizante mineral. Foram dispostas 300 sementes aptas m^{-2} e 400 kg ha^{-1} de fertilizante (N-P₂O₅-K₂O, 05-20-20) em sulcos espaçados a 0,2 m. A adubação de cobertura correspondeu a aplicação de 133 kg de ureia (45% de N) ha^{-1} , fracionado proporcionalmente igual, em três estádios fenológicos (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974), no afilhamento (Z-20), no alongamento do colmo (Z-30) e antecedendo o emborrachamento (Z-37). A recomendação de adubação foi realizada conforme interpretação da análise química de solo para 0,10 m de profundidade, primeiro cultivo e com expectativa de colheita de 5 t de sementes ha^{-1} (CQFS, 2016).

Os manejos fitossanitários de pragas (plantas daninhas, insetos e doenças) seguiram as indicações para a cultura (EMBRAPA, 2017). Preventivamente foram realizadas aplicações de inseticidas e fungicidas. No emborrachamento, anteriormente a abertura da bainha da folha bandeira (Z-45) foi aplicado *trifloxystrobin* + *prothioconazole* (Fox[®], 75 e 87,5 g i.a. ha^{-1}). No início do espigamento (Z-50) foi aplicado *thiamethoxam* + *lambda-cyhalothrin* (Engeo Pleno[®], 21,15 e 15,9 g i.a. ha^{-1}) e *trifloxystrobin* + *tebuconazol* (Nativo[®], 60 e 120 i.a. ha^{-1}). No florescimento (Z-60) foi aplicado *propiconazole* (Tilt[®], 187,5 g i.a. ha^{-1}). Todas as aplicações descritas foram realizadas com pulverizador acoplado ao trator, com 180 L ha^{-1} de volume de calda e pontas do tipo jato plano (Teejet[®] XR 100.02) espaçadas 0,5 m entre si.

Anteriormente à aplicação dos tratamentos, foram realizadas avaliações em todas as parcelas do experimento para atestar a homogeneidade e impedir a presença de erros *a priori*. Aquelas parcelas que apresentaram variação foram descartadas. A avaliação foi realizada pela coleta de plantas (0,8 m^2) por parcela para a quantificação do número de plantas, afilhos e espigas por área e a massa de espigas.

Quadro 2. Características das cultivares de trigo utilizados no experimento.

Descrição	BRS Parrudo		TBIO Sinuelo	
	-----Características agronômicas ¹ -----			
Ciclo (dias para maturação)	Precoce/Médio (135)		Médio (145)	
Altura média	Média		Média/Baixa	
Comportamento ao acamamento	R/MR		R/MR	
Germinação na espiga	MS		R/MR	
	-----Qualidade tecnológica ¹ -----			
Classificação	Pão/melhorador		Pão	
Força de glúten (w médio)	330		269	
Estabilidade (minutos)	30		16,7	
Coloração do pericarpo	Vermelho		Vermelho	
Dureza do pericarpo	Duro		Duro	
Massa de mil sementes (gramas)	35		36	
	-----Estande de plantas ² -----			
	2016	2017	2016	2017
Número de plantas (m ²)	112	76	171	69
Número de espigas (m ²)	358	190	549	175
Massa da matéria seca espiga (g m ²)	594	325	725	302

MR=moderadamente resistente, R=resistente, MS=moderadamente suscetível. ¹Informações retiradas do site do detentor das sementes. ²Informações do experimento.

Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

A unidade experimental foi composta por 7,75 m x 2 m, totalizando 15,5 m². O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições. As duas cultivares utilizadas foram analisadas separadamente.

Os tratamentos foram constituídos da combinação de herbicidas e estádios fenológicos de aplicação, acrescidos de um tratamento sem aplicação, totalizando 13 tratamentos. Foram utilizados os herbicidas: *glufosinate-ammonium* (Finale[®], 350 g i.a. ha⁻¹), *glyphosate* (Stinger[®], 1440 g i.a. ha⁻¹) e *paraquat* (Gramoxone[®], 400 g i.a. ha⁻¹). Os estádios fenológicos de aplicação dos herbicidas foram: Z-83 (semente iniciando a textura de massa e coloração verde, conteúdo pegajoso ao ser amassado pela pressão do polegar), Z-85 (semente de massa macia e coloração verde clara, quando pressionado com a unha do polegar a marca desaparece rapidamente), Z-87 (semente de massa dura e coloração vermelha clara, quando pressionada com a unha do polegar a marca permanece) e Z-92 (semente de massa muito dura e coloração vermelha, não podendo ser amassada pela pressão do polegar). A definição do estágio fenológico foi estabelecida por pelo menos 50% das plantas da parcela, avaliando-se as espigas aleatoriamente.

Não foram utilizados adjuvantes e surfactantes na calda de pulverização, na solução utilizou-se água potável. Os tratamentos foram aplicados com pulverizador costal, pressurizado com CO₂, com calibração proporcional a um volume de calda de 150 L ha⁻¹ a 200 kPa de

pressão. A barra de pulverização foi constituída de quatro pontas do tipo jato plano (Teejet® XR 100.02), espaçadas 0,5 m entre si.

Variáveis analisadas

Após a aplicação dos herbicidas (tratamentos), a fitointoxicação (%) foi mensurada por meio de análises visuais a cada dois dias, até o 12º dia, utilizando-se um diagrama de notas (SBCPD, 1995). Atribuiu-se “nota 0” pela ausência de injúrias à cultura e “nota 100” pela morte de 100% das plantas de trigo. Foi quantificado o tempo de antecipação do ponto de colheita após a aplicação dos herbicidas (APCAAH, dias) e a antecipação do ponto de colheita relativa ao tratamento sem a aplicação de herbicidas (APCRTSA, dias). O ponto de colheita foi definido pela maturação de no mínimo 95% das espigas, coloração pálea e curvatura decumbente.

Foram colhidos manualmente, debulhados e limpos mecanicamente, seis m² de cada unidade experimental. Procedeu-se a aferição por meio de balança semianalítica, descontando-se o conteúdo de água (base 13%) para a estimação da produtividade de sementes (kg de sementes ha⁻¹). Retirou-se uma amostragem de sementes para aferição da umidade das sementes após a colheita (UM, %) e massa do hectolitro (MH, kg de sementes hL⁻¹) por meio do medidor automatizado G650i® (Gehaka, São Paulo, SP, Brasil). Foram realizadas oito contagens de cem sementes, quantificando-se a massa de mil sementes (MMS, gramas) pela média das massas obtidas nas subamostras.

A viabilidade econômica na comercialização de sementes (VECS, R\$ ha⁻¹) foi calculada pela diferença entre o valor monetário investido para realizar uma aplicação de agrotóxico na pré-colheita da cultura e o valor monetário do retorno econômico provindo da comercialização das sementes. O custo referencial, bem como a produtividade de sementes relativa (PSR, kg ha⁻¹) foi equivalente aos valores obtidos no tratamento sem aplicação de herbicidas (Quadro 3).

Quadro 3. Detalhamento do custo para realização de uma aplicação de agrotóxico.

Descrição do serviço / Ano da safra	2016	2017
	-----Despesas e custos (R\$ ha ⁻¹)-----	
Operações com máquinas		
-Trator	25,08	25,58
Depreciação		
-Trator	7,40	8,14
-Pulverizador	10,84	11,93
Aquisição de agrotóxicos		
-Finale [®] (<i>glufosinate-ammonium</i>)	101,50	81,20
-Stinger [®] (<i>glyphosate</i>)	39,00	31,20
-Gramoxone [®] (<i>paraquat</i>)	48,00	38,40
	-----Receitas (R\$ kg ⁻¹ de trigo)-----	
Comercialização do trigo (semente)	1,40	1,40

*Para o cálculo do valor monetário investido na aplicação de agrotóxicos (R\$ ha⁻¹) foram somadas as despesas conforme o herbicida/dose utilizado. As despesas relacionadas à aplicação foram baseadas no custo de produção (CONAB, 2016); os valores de mercado dos insumos foram baseados em informe verbal em empresa agropecuária da região de Cruz Alta, RS, Brasil, no dia 01/12/2016.

Análise estatística

Os dados provenientes das variáveis analisadas foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático sendo verificados quanto à normalidade dos erros, homogeneidade das variâncias e aditividade do modelo, pelos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e não aditividade de Tukey, respectivamente (MARTIN; STORCK, 2008). Foi realizada a análise de variância conjunta [teste F ($p \leq 0,05$)], composta pelos 13 tratamentos e os dois anos de experimento. Após, procedeu-se o teste complementar de agrupamento de médias [Scott-Knott ($p \leq 0,05$)]. Foram utilizados os softwares Action[®] (Estatcamp, São Carlos, SP, Brasil) e Genes[®] (CRUZ, 2013).

RESULTADOS

Com base na análise de variância conjunta não houveram interações entre os tratamentos e os anos em que foram realizados os experimentos para a cultivar BRS Parrudo, bem como, para algumas variáveis da cultivar TBIO Sinuelo (Tabela 1). As variáveis analisadas são apresentadas por suas médias (Tabela 2, 3 e Figura 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta representado pelos quadrados médios dos caracteres de trigo (BRS Parrudo e TBIO Sinuelo) submetido a aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita nas safras de 2016 e 2017.

FV ¹	GL	PS ²	MH	MMS	UM	PSR	VECS	APCAAH ³	APCRTSA ³
-----BRS Parrudo-----									
Bloco/Ano	8	66,29	3,66	2,79	2,37	66,30	129,95	-	-
Tratamentos	12	117,15*	3,01 ^{ns}	11,09 ^{ns}	13,99 ^{ns}	127,41 ^{ns}	307,23 ^{ns}	-	-
Ano	1	94483,42*	761,0*	191,08*	0,17*	481,64*	1030,11*	-	-
Tratamentos/Ano	12	87,92 ^{ns}	7,63 ^{ns}	4,40 ^{ns}	13,69 ^{ns}	77,65 ^{ns}	153,12 ^{ns}	-	-
Erro	96	74,64	1,74	1,53	1,04	74,65	146,32	-	-
>QME/<QME		2,89	1,79	6,98	1,97	7,06	7,04	-	-
Média geral		3091,78	71,80	32,27	12,96	-170,84	-333,37	-	-
CV (%)		8,83	1,83	3,83	7,89	59,92	14,74	-	-
-----TBIO Sinuelo-----									
Bloco/Ano	8	247,33	9,10	1,58	4,29	247,22	488,79	0,63	0,25
Tratamentos	12	1096,82 ^{ns}	5,92 ^{ns}	18,88 ^{ns}	24,59 ^{ns}	1096,90 ^{ns}	2291,96 ^{ns}	121,91*	149,63*
Ano	1	247042,36*	38,25 ^{ns}	318,02*	51,43*	1719,87*	3409,41*	0,37 ^{ns}	88,06*
Tratamentos/Ano	12	747,53 ^{ns}	5,23 ^{ns}	7,29*	10,51*	747,46*	1495,86*	7,96*	3,65*
Erro	96	101,06	1,91	1,24	1,00	101,04	198,11	0,70	0,55
>QME/<QME		1,65	1,31	1,56	1,57	6,98	6,97	1,08	1,06
Média geral		3316,70	74,25	28,68	14,52	-266,77	-464,78	8,70	4,06
CV (%)		9,58	1,86	3,88	6,90	19,15	95,76	9,62	18,38

¹Fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), coeficiente de variação (CV); ²Caracteres: produtividade de sementes (PS, kg ha⁻¹), massa do hectolitro (MH, kg hL⁻¹), massa de mil sementes (MMS, g), umidade de sementes na colheita (UM, %), produtividade de sementes relativa (PSR, kg ha⁻¹), viabilidade econômica na comercialização de sementes (VECS, R\$ ha⁻¹), antecipação do ponto de colheita após a aplicação dos herbicidas (APCAAH, dias) e antecipação do ponto de colheita relativa ao tratamento sem aplicação de herbicidas (APCRTSA, dias); ³caracteres mensurados apenas na cultivar TBIO Sinuelo; não significativo e 5% de diferença estatística pelo teste F (^{ns} e *, respectivamente).

Fitointoxicação e antecipação do ponto de colheita

Por motivos técnicos e de mão-de-obra a fitointoxicação foi mensurada somente para a cultivar TBIO Sinuelo. Em geral os tratamentos onde foram utilizados os herbicidas *glufosinate-ammonium* e *paraquat* foram mais eficientes (Figura 2). No experimento de 2016 obteve-se maiores antecipações em relação ao segundo ano experimental. Após a aplicação do herbicida, o tempo de antecipação do ponto de colheita é influenciado pelo estágio fenológico em que este manejo foi realizado. Foram proporcionadas condições de colheita após a aplicação dos herbicidas *glufosinate-ammonium* (9,5 e 8,8 dias), *glyphosate* (11,2 e 10,9 dias) e *paraquat* (7,9 e 8,5 dias), para as safras de 2016 e 2017, respectivamente. Contudo, é importante comparar este período em relação ao tratamento onde não houve aplicação de herbicidas. Assim, sendo possível comparar com uma condição normal de cultivo sem a maturação forçada pelo herbicida. Para o primeiro ano (5,4, 4 e 6,6) e em 2017 (4,3, 2,2 e 4,1) dias de antecipação para os herbicidas *glufosinate-ammonium*, *glyphosate* e *paraquat*, respectivamente. Independentemente do herbicida aplicado, os dois estádios fenológicos iniciais aplicados (Z-83 e Z-85) promovem maior antecipação. Em algumas situações, como por exemplo a aplicação do herbicida *glyphosate* no estágio Z-92, não proporciona antecipação.

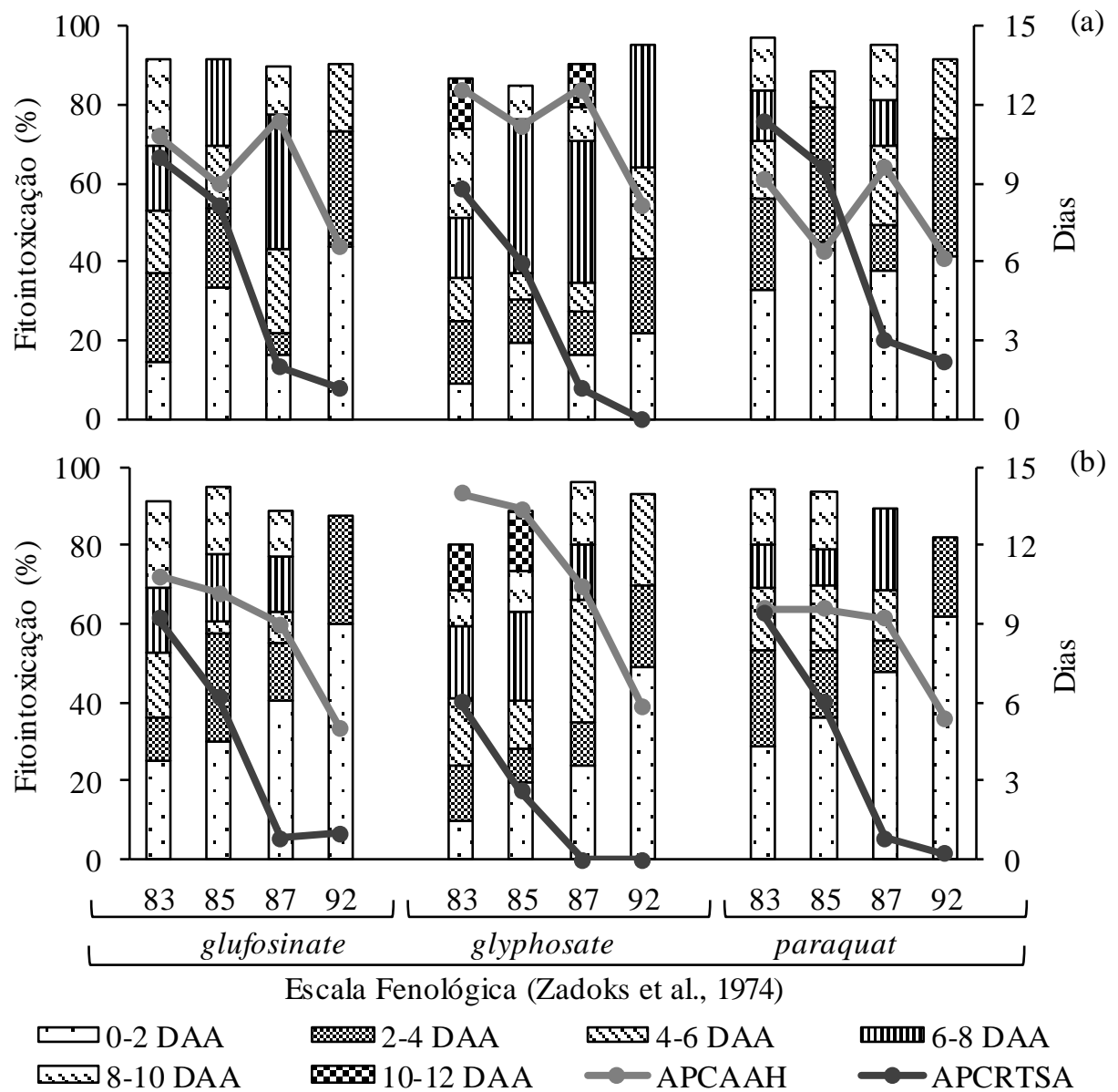


Figura 2. Fitointoxicação (%) de trigo (TBIO Sinuelo) submetido a aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita nas safras de 2016 (a) e 2017 (b) e antecipação do ponto de colheita após a aplicação dos herbicidas (APCA AH, dias) e antecipação do ponto de colheita relativa ao tratamento sem aplicação (APCRTSA, dias).

Componentes da produtividade de sementes

Os componentes da produtividade de sementes foram influenciados pela aplicação de herbicidas na pré-colheita. Em geral, o rendimento das variáveis foi maior para o tratamento sem aplicação e em algumas situações sendo inalterado pelos herbicidas. A produtividade de sementes não foi afetada na safra de 2017 para ambas cultivares testadas, bem como, a massa do hectolitro para a cultivar TBIO Sinuelo (Tabela 2).

A estação de cultivo representado pelo ano em que foi conduzido o experimento exerceu influência sobre os principais componentes da produção. Devido a concentração de precipitações pluviais anteriores a instalação do experimento no ano de 2017, a população de plantas estabelecidas foi reduzida devido falhas na emergência. Aliado a isso, durante o ciclo de desenvolvimento ocorreram altas temperaturas médias diárias, aumentando a evapotranspiração das plantas (Figura 1). Com isso, o estresse reduziu-se a produção de fotoassimilidos interferindo diretamente na produção que apresentou índices insatisfatórios quando comparados com a estação de cultivo anterior.

A produtividade de sementes obtida nos tratamentos em que os herbicidas foram aplicados nos estádios Z-87 e Z-92 não diferiu estatisticamente a obtida no tratamento sem aplicação, para as duas cultivares na safra de 2016. A aplicação nos dois primeiros estádios fenológicos proporcionou redução média de 4,6% (BRS Parrudo) e de 25,4% (TBIO Sinuelo). O herbicida *glyphosate* não afetou a produtividade de sementes da cultivar BRS Parrudo, independentemente do estágio fenológico de aplicação. Já o herbicida *glufosinate-ammonium* (Z-83) reduziu 1308 kg de sementes ha⁻¹ em relação a média do experimento com a cultivar TBIO Sinuelo.

A massa do hectolitro da cultivar TBIO Sinuelo foi pouco influenciada pelos herbicidas, sendo reduzida apenas pela utilização do *glufosinate-ammonium* e *paraquat*, no estágio Z-83 (2016). Já para a cultivar BRS Parrudo a redução não foi evidenciada apenas com uso de *glyphosate* no estágio Z-87 e Z-92 (2016) e com aplicação de qualquer um dos herbicidas no estágio Z-92 (2017). O tratamento sem aplicação de herbicidas apresentou as maiores médias, porém, não foi atestada diferença estatística em todas as ocasiões.

A massa de mil sementes foi influenciada principalmente pelo estágio de aplicação do herbicida. Sementes de maior massa foram obtidas nas aplicações em Z-87 e Z-92 ocorrendo redução na massa de sementes principalmente no estágio Z-83. Quando comparada ao tratamento sem aplicação, a dessecação na pré-colheita promoveu redução média de 10,9 (BRS Parrudo) e 2,6% (TBIO Sinuelo) na massa de mil grãos, independentemente do herbicida e do estágio fenológico de aplicação (2016). Nos experimentos na segunda safra mantiveram-se as reduções, 8,7 e 2,9%, respectivamente.

Tabela 2. Componentes da produtividade de trigo (BRS Parrudo e TBIO Sinuelo) submetido a aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita nas safras de 2016 e 2017.

Herbicida	Estádio Fenológico	Produtividade de sementes (kg ha ⁻¹)		Massa do hectolitro (kg hL ⁻¹)		Massa de mil sementes (g)		Umidade de sementes (%)	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
-----BRS Parrudo-----									
<i>glufosinate-ammonium</i>	Z-83	3756 b*	2145 ^{ns}	74,3 b	67,6 b	32,3 c	30,2 b	16,1 a	14,8 a
	Z-85	3843 b	2202	74,3 b	68,0 b	34,2 b	30,3 b	16,6 a	12,7 b
	Z-87	4008 a	2301	73,3 b	70,3 a	33,3 c	31,3 a	11,2 d	12,6 b
	Z-92	4140 a	2264	74,0 b	70,7 a	34,8 b	31,3 a	11,1 d	12,4 b
<i>glyphosate</i>	Z-83	3928 a	2189	73,4 b	68,9 b	32,0 c	29,9 b	13,8 b	14,3 a
	Z-85	4178 a	2219	73,5 b	69,0 b	33,3 c	30,3 b	15,7 a	12,8 b
	Z-87	4144 a	2211	75,7 a	69,4 b	34,3 b	31,8 a	11,2 d	12,0 b
	Z-92	3989 a	2283	75,6 a	70,7 a	34,4 b	32,0 a	11,0 d	12,7 b
<i>paraquat</i>	Z-83	3534 b	2195	73,8 b	69,3 b	30,3 d	30,6 b	13,2 c	13,0 a
	Z-85	3779 b	2238	73,9 b	68,6 b	32,0 c	31,2 a	15,2 a	13,8 a
	Z-87	3806 b	2227	73,0 b	68,5 b	33,3 c	31,5 a	11,2 d	12,1 b
	Z-92	3991 a	2282	73,5 b	70,1 a	34,3 b	31,6 a	11,4 d	12,4 b
Sem aplicação		4176 a	2349	75,9 a	70,9 a	36,8 a	31,8 a	11,3 d	12,4 b
-----TBIO Sinuelo-----									
<i>glufosinate-ammonium</i>	Z-83	3386 c	1883 ^{ns}	71,2 c	73,9 ^{ns}	25,2 d	26,6 b	17,6 b	15,2 a
	Z-85	4221 b	1857	74,5 a	73,1	29,8 b	27,1 a	21,1 a	13,5 b
	Z-87	5128 a	1982	74,8 a	74,1	31,9 a	27,5 a	13,2 d	13,4 b
	Z-92	5340 a	1974	75,3 a	73,8	31,9 a	27,9 a	13,7 d	13,8 b
<i>glyphosate</i>	Z-83	4190 b	1795	75,8 a	73,5	29,1 b	26,4 b	14,8 c	14,7 a
	Z-85	4537 b	1903	76,3 a	74,2	29,9 b	26,8 b	17,1 b	12,8 b
	Z-87	5158 a	1969	75,2 a	73,5	31,5 a	27,8 a	13,3 d	13,4 b
	Z-92	5255 a	2015	74,9 a	72,9	31,6 a	27,3 a	13,4 d	13,9 b
<i>paraquat</i>	Z-83	4198 b	1839	73,4 b	73,7	26,9 c	26,2 b	15,0 c	15,6 a
	Z-85	4288 b	1943	75,4 a	72,9	29,5 b	26,0 b	18,0 b	13,0 b
	Z-87	4953 a	1984	74,2 a	73,8	31,8 a	27,4 a	13,1 d	13,7 b
	Z-92	5308 a	1962	75,7 a	73,4	31,5 a	27,8 a	13,1 d	13,8 b
Sem aplicação		5077 a	2090	75,7 a	75,5	32,7 a	27,8 a	13,7 d	13,7 b

*Letras distintas na coluna diferem entre si [Scott-Knott (p ≤ 0,05)]; ^{ns}não significativo.

Viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica foi estimada a partir da produtividade média relativa ao tratamento sem a aplicação de herbicidas nos dois anos de experimentos. Assim, foi estabelecido, respectivamente, 4176 e 2349 kg de sementes ha⁻¹ (BRS Parrudo) e 5077 e 2090 kg de sementes ha⁻¹ (TBIO Sinuelo). O valor monetário adquirido com a venda do insumo, descontando-se os custos de aplicação, representou a viabilidade econômica (Figura 3).

Não houve incremento de produtividade de sementes em nenhum dos tratamentos com aplicação de herbicidas na pré-colheita da cultivar BRS Parrudo. Em média, houveram reduções de 251 e 119 kg de sementes ha⁻¹ no primeiro e segundo ano, respectivamente. Em consequência disto, em nenhuma ocasião houve viabilidade econômica desta tática de manejo. Apesar do déficit econômico não houve diferença estatística para os resultados de 2017. No ano anterior, as aplicações dos herbicidas *glufosinate-ammonium* e *paraquat* nos estádios fenológicos Z-83,

Z-85 e Z-87 (somente para o segundo herbicida) provocaram os maiores déficits. Esse dano econômico variou de 194 a R\$ 989 ha⁻¹.

Com a cultivar TBIO Sinuelo, não houve incremento de produtividade de sementes no ano de 2017, não diferindo estatisticamente do tratamento sem aplicação de herbicidas. Já para o ano de 2016 essa situação ocorreu apenas nas aplicações dos três herbicidas testados nos estádios fenológicos Z-87 e Z-92. Porém, esse incremento na viabilidade econômica foi evidenciado somente no estágio Z-92, variando em média R\$ 228 ha⁻¹. Ressalta-se negativamente a aplicação do herbicida *glufosinate-ammonium* no estágio Z-83 que provocou déficit econômico de R\$ 2512 ha⁻¹.

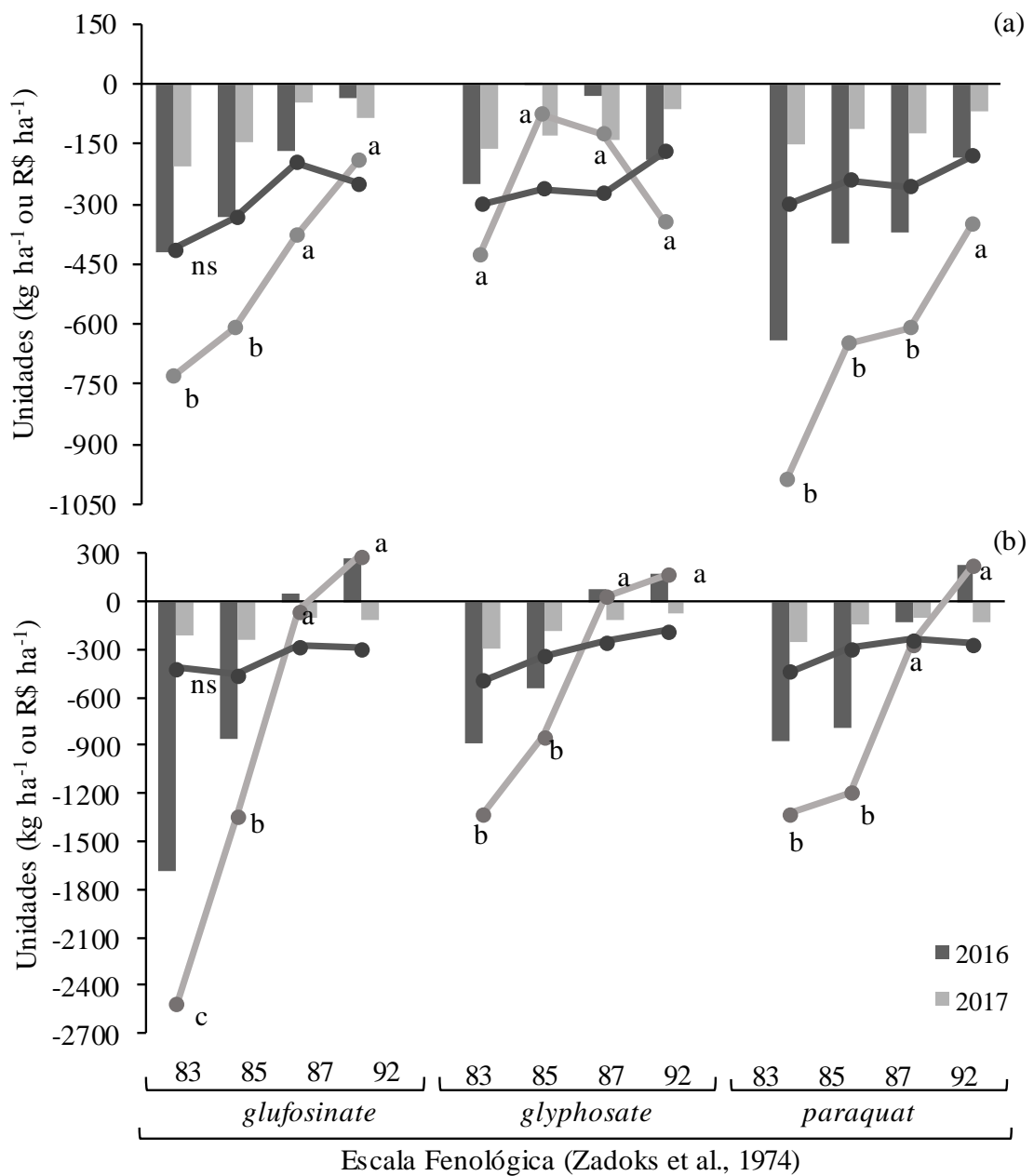


Figura 3. Produtividade relativa (barras) e viabilidade econômica na comercialização de sementes (linhas) de trigo [BRS Parrudo (a) e TBIO Sinuelo (b)] submetido a aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita nas safras de 2016 e 2017. Os valores obtidos nos tratamentos sem a aplicação de herbicidas serviram como referência (zero). Letras distintas diferem entre si [Scott-Knott ($p \leq 0,05$)]; ns não significativo.

DISCUSSÃO

A produtividade de sementes foi influenciada principalmente pelo estágio fenológico de aplicação com as aplicações feitas em estádios mais antecipados apresentando maior redução. Utilizando-se a cultivar Quartzo a aplicação de herbicidas nos estádios 11.2 e 11.3 da escala fenológica de Feeks (LARGE, 1954) não influencia na produtividade de grãos em relação à testemunha (BELLÉ et al., 2014). Porém, a utilização da escala fenológica parece não ser

adequada para este tipo de estudo, por exemplo, o estágio 11.2 compreende o Z-83 até o Z-87 (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974). Com isso, a precisão da informação é prejudicada, pois nesse intervalo de tempo transcorrem mais de dez dias, e em condições de campo isso é determinante para a maturação da cultura. Para a cultivar CD 150, a aplicação dos herbicidas *glufosinate-ammonium*, *paraquat*, *glyphosate*, *clethodim* e *diquat* no estágio Z-80 reduziram a produtividade de grãos (KRENCHINSKI et al., 2017).

Com 71,8% das plantas de trigo no estágio 11.2, Lunkes (2014) aponta que não há perdas na produtividade de grãos pela dessecação. Comparando com os resultados do presente estudo, o referido estágio não seria indicado. Já a recomendação para o estágio 11.3 coincide com os estádios Z-91 e Z-92, podendo ser uma época adequada para não haver redução em relação à testemunha. Essa afirmação é sustentada por Cechinel (2014) para as cultivares CD 123, BRS Pardela e TBIO Pioneiro, que expressam características fenológicas semelhantes às utilizadas no presente trabalho. Aplicações muito antecipadas, como por exemplo, *glyphosate* no Z-70 (YENISH; YOUNG, 2000), *paraquat* no Z-79 (SANTOS; VICENTE, 2009) e ambos herbicidas com umidade da massa de grãos entre 45-65% (MELLADO; PEDREROS, 2005) promovem redução na produção. A partir do estágio Z-88 (NARDI FILHO, 2013) e com teor de umidade dos grãos abaixo de 40% (DARWENT et al., 1994) são indicadores mais confiáveis para que não ocorram perdas.

A redução na produção de sementes pode ser explicada pela sua relação com os principais componentes da produtividade. Antes da antese o número de espigas por área, número de espiguetas por espiga e o número de sementes por espiguetas são os principais (BELLIDO, 1991). Esses caracteres não foram mensurados pois já estavam definidos no momento da aplicação dos tratamentos. Após a maturação fisiológica o principal componente da produtividade é a massa de sementes. No presente estudo, esse caractere foi reduzido devido à aplicação dos herbicidas, confrontando os resultados obtidos em trabalhos anteriores que avaliaram diferentes épocas de aplicação (BELLÉ et al., 2014; SANTOS; VICENTE, 2009) e herbicidas (CECHINEL, 2014). O estresse na planta causado pela aplicação de herbicidas influencia em vários processos fisiológicos. A translocação de fotoassimilados em função do enchimento de grãos pode ter sido influenciado. Durante o processo de assimilação da fotossíntese, são acomodados os carboidratos nas sementes em forma de grânulos de amido (TAIZ et al., 2017). Nos cereais, como o trigo, o principal constituinte estrutural da semente é o amido, portanto, esse fato pode ter reduzido a massa de grãos.

Analisando do ponto de vista prático na produção de sementes, há uma relação direta entre a massa de sementes e a qualidade. Sementes mais pesadas são maiores e proporcionam

o aumento de vigor e germinação (BREDEMEIER; MUNDSTOCK; BÜTTENBENDER, 2001). Ainda, esses mesmos autores complementam que as plântulas originadas apresentam maior taxa de emissão de folhas e atributos morfológicos referentes ao afilhamento. Isso significa que em condições de campo, esse tipo de sementes irá se sobressair em condições adversas, principalmente, relacionadas ao processo de semeadura.

A forma, uniformidade, densidade e tamanho dos grãos expressam a massa do hectolitro, uma análise física da qualidade tecnológica do trigo (LUNKES, 2014). Com quaisquer dos herbicidas testados a aplicação com umidade da massa de grãos superior a 45% promove reduções, em contrapartida, a aplicação com umidade inferior a 35% não produz efeitos de redução significativos (CALVIÑO et al., 2002; MELLADO; PEDREROS, 2005). No presente estudo a massa do hectolitro não foi influenciada, porém, salienta-se que os maiores índices para essa variável coincidiram com os maiores índices de porcentagem de umidade. Antecipando-se a colheita e secagem dos grãos de trigo não há interferência na qualidade tecnológica da farinha (CARNEIRO et al., 2005). Porém, sementes colhidas mais úmidas estão propensas a germinação na espiga, devendo ser secas por processo forçado. Com isso, há incremento de custos operacionais referentes ao processo de secagem.

Os herbicidas têm potencial para promover a dessecação de folhas e colmos de trigo, antecipando sua colheita em cinco dias, para *glufosinate-ammonium* (NARDI FILHO, 2013), *paraquat* e *glyphosate* (CALVIÑO et al., 2002). Esses mesmos autores relatam diminuição da umidade da massa de grãos em relação ao tratamento testemunha. Relacionando com o presente estudo deve-se estabelecer a comparação na mesma época de aplicação, ou seja, após o estágio Z-88. Dessa forma, ambos resultados concordam na questão do potencial de redução da umidade da massa de sementes. Fica evidente a maior contribuição para o efeito do estágio fenológico de aplicação em relação ao herbicida e sua dose, já que neste estudo o tratamento testemunha foi significativamente superior em relação aos herbicidas. Em se tratando da antecipação de colheita em relação a testemunha, os herbicidas *glufosinate-ammonium* (4,8 dias), *glyphosate* (2,1 dias) e *paraquat* (5,3 dias) apresentaram-se pouco eficientes e sem viabilidade econômica. Esses resultados corroboram com o boletim da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária buscando estratégias de sucessão trigo-soja para o planalto riograndense (PIRES et al., 2016).

Considerando o ciclo das cultivares utilizadas no sul do país, há predominância de cultivares do tipo precoce e médio (EMBRAPA, 2017). O desenvolvimento do trigo é diretamente proporcional a temperatura, apresentando uma relação linear entre a temperatura média e taxa de desenvolvimento. Portanto, é possível quantificar a duração de determinadas

fases em unidade de tempo térmico (RODRIGUES et al., 2011). Com base nessa informação, pode-se inferir que quanto mais curto for o ciclo de uma cultivar, menor será a antecipação de colheita proporcionada pela dessecação. Pontualmente, um dos aspectos que fica determinante para adoção dessa prática é que não se aplica para cultivares precoces pois não haverá antecipação, visto que, a transição entre os estádios fenológicos depende de menor acúmulo térmico.

Na presente pesquisa, assim como a de Bellé et al. (2014), a definição do momento de aplicação foi estratificado em estádios fenológicos, os quais são bastante difíceis de se identificar precisamente em condições de campo. Aspectos visuais da coloração das plantas também mostraram ser pouco eficientes, já que mudanças de coloração nas folhas são estreitamente dependentes das condições ambientais (CALVIÑO et al., 2002). Aferição da umidade da massa de sementes (DARWENT et al., 1994) também é um método bastante subjetivo pois na mesma planta, tem-se espigas com diferentes estádios de maturação, bem como, na mesma espiga, tem-se sementes em estágio de maturação distinto, logo, umidades diferentes. O teor de clorofila na folha bandeira pode ser um método promissor, pois mostrou relação com o estresse oxidativo provocado pelo herbicida *paraquat* (EKMEKCI; TERZIOGLU, 2005). Outro aspecto que precisa ser melhor explorado diz respeito a representatividade das amostragens e o correto método de análise experimental.

A aplicação de herbicidas não seletivos na pré-colheita do trigo tem como vantagens: pouca influência na massa do hectolitro e pode proporcionar antecipação de colheita em relação a testemunha e indiretamente, aumento da eficiência da colheita mecanizada pela uniformização da maturação do dossel de plantas; e desvantagens: a redução na produtividade e massa de sementes, proporcionando colheita de sementes mais úmidas e não havendo viabilidade econômica na comercialização de sementes.

Conforme verificado, há redução significativa na produção do trigo aliada a antecipação de colheita. Em um cenário de produção hipotético, desta forma seria possível realizar a semeadura da cultura sucessora em época antecipada. Tornaria-se necessário verificar a viabilidade econômica dessa estratégia, pois pode ser que em determinada circunstância seja favorável penalizar a produção do trigo em virtude de alocar a cultura subsequente em uma melhor estação de crescimento e assim maximizando sua produção. Enfatiza-se que essa seria uma situação pontual, mas que deve ser ponderada do ponto de vista da Ecofisiologia de plantas e do aspecto econômico. Portanto, estas são lacunas para serem elucidadas em futuros experimentos, já que o sistema de produção está em constante mudança. Para as situações que foram analisadas neste trabalho a dessecação na pré-colheita do trigo não é recomendada.

CONCLUSÕES

A aplicação dos herbicidas não-seletivos *glufosinate-ammonium* (350 g i.a. ha⁻¹) e *paraquat* (400 g i.a. ha⁻¹) na pré-colheita promovem maior fitointoxicação do trigo, antecipando a colheita em 4,8 e 5,3 dias, respectivamente. Há redução na produtividade e massa de sementes, não havendo viabilidade econômica para ambas cultivares avaliadas.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade e pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L. DE; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; BASSO, C. J.; EDU KASPARY, T.; LAMEGO, F. P.; PINTO, M. A. B. Yield and quality of wheat seeds as a function of desiccation stages and herbicides. **Journal of Seed Science**, v.36, n.1, p.63–70, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372014000100008>

BELLIDO, L. L. **Cereales - Cultivos herbáceos**. Mundi-Prensa Libros. 539p. 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acessado dia 18/04/2018.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; BÜTTENBENDER, D. Efeito do tamanho das sementes de trigo no desenvolvimento inicial das plantas e no rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.8, p.1061–1068, 2001. Disponível em <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/6230/3295>. Acessado dia 24/04/2018.

CAIERÃO, E.; ACOSTA, A. D. S. Uso industrial de grãos de cevada de lavouras dessecadas em pré-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.9, p.1277–1282, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000900009>

CALVIÑO, P. A.; STUDDERT, G. A.; ABBATE, P. E.; ANDRADE, F. H.; REDOLATTI, M. Use of non-selective herbicides for wheat physiological and harvest maturity acceleration. **Field Crops Research**, v.77, n.2–3, p.191–199, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00072-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00072-2)

CAMPOS, C. F.; MARTINS, D.; COSTA, A. C. P. R. DA; PEREIRA, M. R. R.; CARDOSO, L. A.; MARTINS, C. C. Efeito de herbicidas na dessecação e germinação de sementes remanescentes de *Lolium multiflorum* L. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.6, p.2067–2074, 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2067>

CARAFFA, M.; RIFFEL, C. T.; STRIEDER, M. L.; PIRES, J. L. F.; MORI, C. D.; CAIERÃO, E.; PEREIRA, P. R. V. S.; MARSARO-JUNIOR, A. L.; FAÉ, G. F. **Estratégias de sucessão trigo/aveia preta- soja para sistemas de produção de grãos no Noroeste do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo, RS. Embrapa Trigo (Circular Técnica 29). 21p. 2016. Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144791/1/ID43666-2016CTO29.pdf>. Acessado dia 18/04/2018.

CARNEIRO, L. M. T. A.; BIAGI, J. D.; FREITAS, J. G. DE; CARNEIRO, M. C.; FELÍCIO, J. C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, v.64, n.1, p.127–137, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000100014>

CECHINEL, M. H. **Dessecação química em pré-colheita do trigo**. Universidade do Estado de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Produção Vegetal). 107p. 2014. Disponível em http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/726/dissertacao_mariana_cechinel.pdf. Acessado dia 18/04/2018.

CONAB. Companhia Nacional do Abastecimento. **Levantamentos de safra**. 2018. Disponível em

https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/21088_8ca248b277426bb3974f74efa00abab6. Acessado dia 18/04/2018.

CONAB. Companhia Nacional do Abastecimento. **Custos de produção - culturas de inverno**. 2016. Disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_13_12_21_41_culturas_inverno-mar-2016-resumo-site.xls . Acessado dia 18/04/2018.

CQFS. Comissão de Química e de Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre. 11.ed. 376p. 2016.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, n.3, p.271–276, 2013. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>

CUNHA, G. T.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. B.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A. Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Eds.). **Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS. Embrapa Trigo, p.27–40, 2011.

DARWENT, A. L.; KIRKLAND, K. J.; CESSNA, A. J.; LUKOWO, O. M.; LEFKOVITCH, L. P. Effect of preharvest applications of glyphosate on the drying yield and quality of wheat. **Canadian Biosystems Engineering**, v.74, p.221–230, 1994. <http://dx.doi.org/10.4141/cjps94-046>

EKMEKCI, Y.; TERZIOGLU, S. Effects of oxidative stress induced by paraquat on wild and cultivated wheats. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.83, n.2–3, p.69–81, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2005.03.012>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF. Embrapa. 253p. 2013. Disponível em http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00053080.pdf. Acessado dia 18/04/2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Informações técnicas para trigo e triticale.** 240p. 2017. Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155787/1/Informacoes-Tecnicas-para-Trigo-e-Triticale-Safra-2017-OL.pdf>. Acessado dia 18/04/2018.

GARCIA-FEBRERO, R.; SALVADOR, J. P.; SANCHEZ-BAEZA, F.; MARCO, M. P. Rapid method based on immunoassay for determination of paraquat residues in wheat, barley and potato. **Food Control**, v.41, n.1, p.193–201, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.008>

GRIFFIN, J. L.; BOUDREAUX, J. M.; MILLER, D. K. Herbicides as Harvest Aids. **Weed Science**, v.58, n.3, p.355–358, 2010. <http://dx.doi.org/10.1614/WS-09-108.1>

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v.38, n.1, p.43–58, 2009. Disponível em <http://w3.ufsm.br/reciam/resenha.php?IDResenha=398>. Acessado dia 18/04/2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados de estações convencionais.** 2016. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>. Acessado dia 18/04/2018.

JABLONKAI, I. Molecular Mechanism of Action of Herbicides. In: HASANEEN, M. N. (Ed.). **Herbicides - Mechanisms and Mode of Action.** InTech Open. p.3–24, 2011. Disponível em <http://www.intechopen.com/books/herbicides-mechanisms-and-mode-of-action/molecular-mechanism-of-action-of-herbicides>. Acessado dia 18/04/2018.

JASKULSKI, D.; JASKULSKA, I. The effect of pre-harvest glyphosate application on grain quality and volunteer winter wheat. **Romanian Agricultural Research**, v.31, n.1, p.283–289, 2014. Disponível em <http://www.incda-fundulea.ro/rar/nr31/rar31.34.pdf> . Acessado dia 16/07/2018.

KOLBERG, D. I.; PRESTES, O. D.; ADAIME, M. B.; ZANELLA, R. Development of a fast multiresidue method for the determination of pesticides in dry samples (wheat grains, flour and

bran) using QuEChERS based method and GC-MS. **Food Chemistry**, v.125, n.4, p.1436–1442, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.041>

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PEREIRA, V. G. C.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P. Yield and physiological quality of wheat seeds after desiccation with different herbicides. **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.254–261, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v39n3172506>

LARGE, E. C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feeks scale. **Plant Pathology**, v.3, n.4, p.128–129, 1954. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x>

LUNKES, A. **Maturação antecipada de trigo: produtividade e qualidade de grãos**. Universidade de Cruz Alta. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural). 52p. 2014. Disponível em <https://home.unicruz.edu.br/wp-content/uploads/2017/01/Adilson-Lunkes-MATURACAO-ANTECIPADA-DE-TRIGO-PRODUTIVIDADE-E-QUALIDADE-DOS-GRAOS.pdf>. Acessado dia 18/04/2018.

MANTHEY, F. A.; CHAKRABORTY, M.; PEEL, M. D.; PEDERSON, J. D. Effect of preharvest applied herbicides on breadmaking quality of hard red spring wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.84, n.5, p.441–446, 2004. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.1676>

MARTIN, T. N.; STORCK, L. Análise das pressuposições do modelo matemático em experimentos agrícolas no delineamento blocos ao acaso. In: MARTIN, T. N.; ZIECH, M. F. (Eds.). **Sistemas de Produção Agropecuária**. Dois Vizinhos, PR: p.177-196, 2008.

MELLADO, M. Z.; PEDREROS, A. L. Efecto de Herbicidas Aplicados Durante la Madurez del Grano de Trigo en el Rendimiento y Calidad del Grano. **Agricultura Técnica**, v.65, n.3, p.312–318, 2005. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000300009>

NARDI FILHO, W. N. **Produtividade da soja e do trigo em função de manejo de plantas daninhas em pós emergência e da dessecação na pré-colheita**. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agronomia) 57p. 2013. Disponível em

http://bicen-tede.uepg.br/tde_busca/processaArquivo.php?codArquivo=1065. Acessado dia 18/04/2018.

PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; MANTOVANI, A.; MATHIAS, V. Dessecação química para antecipação de colheita em cultivares de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.4, p.2383-2394, 2015. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n4p2383>

PINTO, M. A. B.; BASSO, C. J.; KULCZYNSKI, S. M.; BELLÉ, C. Productivity and physiological quality of seeds with burn down herbicides at the pre harvest of bean crops. **Journal of Seed Science**, v.36, n.4, p.384–391, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v36n4997>

PIRES, J. L. F. et al. **Estratégias de sucessão trigo/aveia preta- soja para sistemas de produção de grãos no Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo, RS. Embrapa Trigo (Circular Técnica 30). 24p. 2016. Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144792/1/ID43667-2016CTO30.pdf>. Acessado dia 18/04/2018.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; COSTENARO, E. E.; SANA, D. Ecosfisiologia de trigo: bases para elevado rendimento de grãos. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.). **Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 115-134, 2011.

SANTOS, P. R. R.; VICENTE, D. Momento fisiológico das plantas de trigo para a dessecação e seus efeitos no rendimento de grãos. **Cultivando o saber**, v.2, n.1, p.52–62, 2009. Disponível em https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/591a1fee7d5fb.pdf. Acessado dia 18/04/2018.

SBCPD. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina, PR. 42p. 1995.

SHERWANI, S. I.; ARIF, I. A.; KHAN, H. A. Modes of Action of Different Classes of Herbicides. In: PRICE, A.; KELTON, J.; SARUNAITE, L. (Eds.). **Herbicides, Physiology of**

Action, and Safety. InTech Open. p.165-186, 2015. Disponível em <http://www.intechopen.com/books/herbicides-physiology-of-action-and-safety/modes-of-action-of-different-classes-of-herbicides>. Acessado dia 18/04/2018.

SILVA, J. A. G.; MOTTA, M. B.; WINCH, J. A.; CRESTANI, M.; FERNANDES, S. B. V; BERTO, J. L.; GAVIRAGHI, F.; MARTINS, J. A. K.; WAGNER, J. F.; VALENTINI, A. P. F.; ZAMBONATO, F. Dessecação em pré-colheita como estratégia de manejo na redução de perdas por fatores de ambiente em canola. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.17, n.1-4, p.15-24, 2011. <http://dx.doi.org/10.18539/CAST.V17I1.2027>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

YENISH, J. P.; YOUNG, F. L. Effect of Preharvest Glyphosate Application on Seed and Seedling Quality of Spring Wheat (*Triticum aestivum*). **Weed Technology**, v.14, n.1, p.212-217, 2000. [http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0212:EOPGAO\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0212:EOPGAO]2.0.CO;2)

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v.14, n.6, p.415-421, 1974. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

4 ARTIGO 2 - APPLICATION OF NON-SELECTIVE HERBICIDES IN THE PRE-HARVEST OF WHEAT DAMAGES SEED QUALITY

Esse capítulo será apresentado pelo artigo científico em sua formatação final, pois compreende o manuscrito publicado na revista American Journal of Plant Sciences (volume 9, número 1 de 2018). Artigo disponível em: <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.91010>

Application of Non-Selective Herbicides in the Pre-Harvest of Wheat Damages Seed Quality

Glauber Monçon Fipke¹, Thomas Newton Martin², Ubirajara Russi Nunes³,
Evandro Ademir Deak¹, Jessica Deolinda Leivas Stecca³, José Eduardo Minussi Winck⁴,
Luiz Fernando Teleken Grando⁵, Anderson da Costa Rossato⁵

¹Post-Graduation Program in Agronomy at Department of Plant Science, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil

²Department of Plant Science, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil

³Laboratory of Seed Research and Teaching, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil

⁴Field Technical Manager, Sementes Lanes Ltda., São Gabriel, Brazil

⁵Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil

Email: gm.fipke@hotmail.com, martin.ufsm@gmail.com, russinunes@yahoo.com.br, evandro.deak@hotmail.com, jessica.stecca@yahoo.com.br, eduardo.winck@hotmail.com, luizf_grando@hotmail.com, ander.rs@hotmail.com

How to cite this paper: Fipke, G.M., Martin, T.N., Nunes, U.R., Deak, E.A., Stecca, J.D.L., Winck, J.E.M., Grando, L.F.T. and Rossato, A.C. (2018) Application of Non-Selective Herbicides in the Pre-Harvest of Wheat Damages Seed Quality. *American Journal of Plant Sciences*, 9, 107-123.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2018.91010>

Received: December 1, 2017

Accepted: January 15, 2018

Published: January 19, 2018

Copyright © 2018 by authors and Scientific Research Publishing Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Pre-harvest desiccation in order to minimize the time of exposure to abiotic factors after physiological maturity is a practice used in the production of quality seeds. The aim of this work was to evaluate the physical, physiological and sanitary quality of wheat seeds from plants that received non-selective herbicide application at pre-harvest. For this, the treatments were applied on pre-harvest culture. A completely randomized design was applied. We use the herbicides (*glufosinate-ammonium*, *glyphosate* and *paraquat*), phenological stages of herbicide application (Z-83, Z-85, Z-87, Z-92) and additional treatment (without application). The routine tests that express the physical, physiological and sanitary integrity of seeds were evaluated. For herbicide treatments, there was an 8% and 26% reduction in germination under laboratory conditions for BRS Parrudo and Sinuelo, respectively. Soil emergence was 14% higher for the control treatment, not statistically different for the Z-87 and Z-92 stages and also for the herbicides *glufosinate-ammonium* and *glyphosate* for both cultivars. The application of non-selective herbicides on wheat pre-harvest impairs the physical and physiological quality and promotes faster deterioration. Vigor is reduced under stress conditions by cold test and accelerated aging. There is no influence on seed sanity.

Keywords

Glufosinate-Ammonium, *Glyphosate*, *Paraquat*, *Triticum aestivum* (L)

1. Introduction

The use of wheat seeds [*Triticum aestivum* (L.)] of high quality can provide a fast establishment of plants, thus, ensuring the number of plants per area which is the first component of the yield to be set. In the reproductive stage the occurrence of unfavorable environmental factors can affect the seed quality. Temperature and relative humidity, as well as, high levels of rainfall are commonplace in late spring in southern Brazil. Reducing time of exposure of seeds to stress caused by the environment is a viable strategy to ensure the physical, physiological and sanitary quality [1] [2]. Harvesting with seed moisture between 30% - 35% maintains the compounds of production, however, the germination of seeds is impaired [3]. Another alternative is to promote drying of the plant by applying non-selective herbicides in order to anticipate the harvest [4].

Herbicides can be used in the pre-harvest for weed control, as well as, promote drying of the plant and force the loss of the moisture content of the seed mass, promoting harvest more quickly and efficiently [5]. The non-selective herbicides are most often used before sowing or otherwise, in genetically modified cultivars with the restriction enzyme. The *glufosinate-ammonium* is of low mobility in the plant, acting in the course of glutamine synthetase, interfering with the metabolism of glutamic acid. Two to four hours after application the photosynthesis decreases and the plants are yellow and die within two to five days. This herbicide is recommended for use on pre-harvest of wheat, being the active ingredient in the composition of the single commercial product registered in Brazil for this purpose [6]. The *glyphosate* is a non-selective systemic herbicide that inhibits the 5-enolpyruvyl shikimate-3-phosphate synthase (EPSPS). Plant growth is inhibited soon after application, accompanied by leaf chlorosis and necrosis in general four to 10 days depending on the susceptibility of the seeds. This herbicide is recommended in several countries (United States, Canada, among others) for pre-harvest application, the most common being indicated the use when the seed moisture is close to 30%. The *paraquat* is a contact herbicide that inhibits photosynthesis at photosystem I. The wilting and drying occurs rapidly within a few hours after application in full sunlight. Complete leaf necrosis occurs within one to three days. This herbicide can be used in pre-harvest of cultures, including soybeans. Must be applied three to four weeks before harvest, when 65% of the pods ripen and present seed moisture less than 30% [7] [8] [9].

The decision on the timing in pre-harvest for herbicide application is crucial to the success of the practice. Often, it is suitable when the plant is physiological maturity and has the lowest seed moisture as possible. In this way, the possibility of herbicide vascular tissue translocation is minimized, and the main route of contamination would be direct contact caused by spraying [10]. In the culture of wheat, [11] indicate the adoption of a practical criterion for the detection of physiological maturity. The node just below the spike may have green, unlike the rest of the plant. In field conditions, these characterizations can be very subjec-

tive, which refers to the use of other types of plant characteristics. Researchers have used the color, consistency and degree of moisture of seeds, phenology, days after flowering, among others [5] [12] [13]. In order to harvest aid of seeds, the aim of this work to evaluate the physical, physiological and sanitary quality of wheat seeds from plants that have received application of non-selective herbicides in pre-harvest.

2. Material and Methods

2.1. Obtaining Seeds

Initially, the experiment was carried out in the field area at Department of Plant Science at the Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (29°42'S, 53°42' at an altitude of 116 m). The sowing (300 viable seeds m²) occurred on June 23, 2017, using the cultivars BRS Parrudo e TBIO Sinuelo. Mineral fertilization in sowing furrow (400 kg·ha⁻¹ of 05-20-20 NPK) and top-dressing (90 kg·ha⁻¹ of urea) was calculated according to the interpretation of the soil analysis [14]. The pesticide management were carried out according to the technical information for the region [15]. During the pre-harvest, non-selective herbicides were applied (treatments), except for the additional treatment.

2.2. Treatments Description

The treatments were randomized in a factorial plus additional treatment (3 × 4 + 1), totaling 13 treatments. On the first factor, were allocated the three herbicides, the second factor were allocated the four phenological stages of application of herbicides and the additional without application. As for the herbicides: *glufosinate-ammonium* [Finale[®], 350 g active ingredient (a.i.) ha⁻¹], *glyphosate* (Stinger[®], 1440 g a.i. ha⁻¹) e *paraquat* (Gramoxone[®], 400 g a.i. ha⁻¹). As the phenological stages of application of herbicides [16]: Z-83 (seed of early dough and green color, sticky content when crushing the caryopsis between fingers), Z-85 (seed of soft dough and light green color, when pressed with the finger nail impression not held), Z-87 (seed of hard dough and seed red clear color, when pressed with the finger nail impression held) and Z-92 (seed of too hard and red color, and may not be finger nail press). As for the additional treatment: there was no herbicide application, with de point of harvest determined by the physiological maturation of at least 95% of the spikes, pale color and decumbent curvature. The herbicide treatments were applied using a CO₂, pressurized backpack sprayer (200 kPa pressure) outfitted with four flat fan tips (Teejet[®] XR 100.02), spaced at 0.5 m, with a spray volume of 150 L·ha⁻¹. Drinking water was used without the addition of adjuvants and surfactants.

2.3. Drying, Storage and Characterization of Seeds

This work was carried out in the Laboratory of Seed Research and Teaching (UFSM). The seeds were dried naturally by exposure to the sun until reaching the optimum moisture for storage (13% - 14%). The seeds were stored in paper

packages in a cool and dry environment for a period of two months. The water content of seeds was determined using a laboratory oven at $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ for 24 hours. The 1000-seed mass was determined by measuring the mass of eight plots of 100 seeds [17] (**Table 1**).

2.4. Physiological Evaluation

Germination was evaluated by the first count of the germination test (FCGT) and germination (GER). We used 800 seeds, sown in *germiteste* moistened paper rolls to 2.5 times the mass of the dry paper and kept in the incubator at 20°C . The evaluations were conducted at four and eight days after beginning of the test [17]. Normal seedlings were considered those who have a root system with at least 2 mm long and with coleoptile straight and well developed.

It was calculated the speed index (SI) the sowing of 800-seeds in soil substrate. The daily count of the number of emerged seedlings until that number remained constant, being considered the emerged seedlings visible on the surface of the substrate. The emergence in soil (EMERs) was determined by counting the plants emerged in 20 days after sowing.

2.5. Seedling Morphology

Were measured the seedling shoot length (SL) and radicle (RL), selecting at random 20 normal seedlings after four days of germination test installation [18]. For the measurements was used a plastic ruler graduated. With those same selected plants was determined to seedling dry mass (SDM). The seedlings were deposited in paper packages, taken to a laboratory oven at 70°C until reaching a

Table 1. Description of the characteristics of the seed cultivars.

HER*	-BRS Parrudo-				-TBIO Simulo-			
	GLU	GLY	PAR	TWA	GLU	GLY	PAR	TWA
PS	Watercontent (%)							
Z-83	14.3	14.6	14.2	13.6	13.9	13.9	14.0	14.3
Z-85	14.1	14.3	14.2		13.9	14.6	14.4	
Z-87	13.3	13.8	14.1		13.9	14.2	14.4	
Z-92	13.3	13.8	13.6		14.0	14.0	14.4	
	1000-seedmass (g)							
Z-83	36.0	37.4	36.6	39.0	30.0	31.8	29.6	35.8
Z-85	37.3	38.1	37.0		34.4	35.1	33.1	
Z-87	38.8	39.4	38.3		35.0	35.0	35.6	
Z-92	39.8	38.2	38.4		37.0	36.0	36.9	

*Herbicides (HER), phenological stage (PS), *glufosinate-ammonium* (GLU), *glyphosate* (GLY), *paraquat* (PAR), treatment without application (TWA). The dates October 24, October 28, November 01, November 06 and November 14, represents the application of herbicides on Z-83, Z-85, Z-87, Z-92 and harvesting of the TWA, respectively.

constant weight [19].

These characters were evaluated with the plants emerged in soil, by selecting 20-normal randomly plants with 20 days. Thus, it was determined the shoot length (SLs) and root (RLs) and the plant dry mass (PDMs) emerged in soil [20].

2.6. Seed Vigor in Stress Conditions

Germination by cold test (CT) was done according to methodology described for germination testing, adapting to the conditions of time and temperature in 5°C for seven days, respectively [18]. After this period, the incubator was regulated to 20°C for four more days, being evaluated the 11th day. Germination by accelerated aging test (AA) was done initially in transparent plastic germination boxes (*gerbox*) containing 40 mL of distilled water at the bottom. An aluminum screen was then fixed at the upper edge of each *gerbox* where seed of each subsample were uniformly distributed on a single layer. The sets (*gerbox* + seeds) were subsequently placed into a controlled environmental chamber (at 43°C) during 48 h. After that period, the seeds of each *gerbox* were subjected to first count of the germination test as previously described.

2.7. Physical Evaluation

The indirect measurement of physical integrity was made by electrical conductivity (EC). Four replicates were used of 50-seeds with weight set, deposited in beakers and immersed in 75 mL of distilled and deionized water, taken the incubator at 20°C, for a period of six hours. After this period, a conductivimeter was then used to measure the electrical conductivity of the solution [21].

2.8. Sanitary Evaluation

The incidence of pathogens was evaluated by blotter test (BT). The incidence of pathogens was evaluated by blotter spot test (BT). 200 seeds were used, divided into four repetitions and placed in *gerbox*, seed dispersal on two sheets of paper *germiteste* sterile and moistened with distilled and autoclaved water in proportion to 2.5 times your weight [22]. A solution of 1.05% sodium hypochlorite was used for an asepsis of the boxes. The boxes were kept in the incubator (20°C) in 12 hours of lighting (with fluorescent lamps) and 12 hours of darkness, for seven days. After this period, fungi were evaluated in seeds, with the aid of binocular microscope loupe based on the morphology of propagative structures of pathogens [23].

2.9. Data Analysis

For the analysis, a completely randomized design was used and the tested cultivars were evaluated separately. The data were verified and met the mathematical model assumptions for errors normality [Shapiro-Wilk ($P \leq 0.05$)] and homogeneity of the variances [Bartlett ($P \leq 0.05$)]. A subsequent analysis of variance [F-test ($P \leq 0.05$)] was conducted, by comparing the degrees of freedom of the

treatments versus the treatment without application [Scheffé ($P \leq 0.05$)] and the complementary grouping test [Scott-Knott ($P \leq 0.05$)]. Software Action* (Estatcamp, São Carlos, SP, Brazil), Genes* [24], Sisvar* [25] were used.

3. Results

About the interactions, it was verified that most of them were significant, as well as, contrasts with results favorable to the treatment without application (TWA) (Table 2 and Table 3). The characters: first count of the germination test (FCGT), germination (GER), speed index (SI), emergence in soil (EMERs), cold test (CT), accelerated aging test (AA) and electrical conductivity (EC) did not meet the normality of errors by the Shapiro-Wilk test ($P \leq 0.05$); To perform the F-test, we used the angular transformation ($\text{Arco seno} \sqrt{x/100}$). The blotter test (BT) did not meet the assumption of the normality of the errors by the Shapiro-Wilk test ($P \leq 0.05$); For the F-test, we used the square root transformation ($\sqrt{x+0.5}$). The tables are represented by the averages (Tables 4-7).

Table 2. Summary of the analysis of variance represented by the mean squares and estimates of the contrasts of treatments with non-selective herbicides applied in the wheat pre-harvest (BRS Parrudo) versus the treatment without application of the characters related to the physical and physiological quality of seeds.

S.V. ¹	D.F.	FCGT	GER	SL	RL	SDM	SI	EMERs	SLs	RLs	PDMs	CT	AA	EC
Treatments	12	503.6**	321.3**	1.16**	8.14**	18.9**	3.48**	343.4**	4.24**	5.03**	156.9**	327.8**	435.4**	54.2**
Fatorial	11	517.1**	340.8**	1.16**	8.71**	19.8**	3.64**	359.2**	4.36**	4.01**	165.3**	352.5**	473.9**	54.6**
Contrast	1	354.8**	106.3**	1.08*	1.84**	8.6 ^{ns}	1.68*	170.3*	2.96 ^{ns}	16.30**	65.1 ^{ns}	55.9 ^{ns}	12.0 ^{ns}	49.0**
Error	39	7.8	5.7	0.07	0.17	4.6	0.26	31.8	0.94	1.28	26.1	22.1	9.1	0.8
A (Herb.)	3	1076.6	658.1	1.74	17.33	9.2	3.41	900.8	1.87	3.28	135.9	407.3	702.4	142.2
D (Phen.St.)	2	746.8	404.7	0.64	13.09	8.5	3.71	465.2	0.83	6.76	386.7	718.7	721.2	49.7
A x D	6	160.9	160.8	1.06	2.96	28.8	3.75	53.1	6.79	3.46	106.2	203.1	277.2	12.5
Average		77.2	84.6	3.2	5.5	30.2	1.80	75.7	12.2	12.9	58.5	90.1	74.5	12.7
CV (%)		4.5	3.5	8.2	7.6	7.2	6.64	9.2	8.0	8.8	8.7	6.4	5.0	4.3
-Contrasts-														
Treatments		9.80**	5.36**	0.45 ^{ns}	0.70**	1.53 ^{ns}	0.67**	6.79**	0.89 ^{ns}	2.10**	4.20 ^{ns}	3.89 ^{ns}	1.80 ^{ns}	-3.64**
glifosinate		3.96**	1.37 ^{ns}	0.30*	-0.27 ^{ns}	2.34 ^{ns}	0.60 ^{ns}	4.65 ^{ns}	0.67 ^{ns}	2.75**	4.30 ^{ns}	-2.34 ^{ns}	-1.61 ^{ns}	-2.04**
glyphosate		8.12**	3.70**	0.68**	0.89**	0.93 ^{ns}	0.23 ^{ns}	2.7 ^{ns}	0.87**	2.10**	-0.76 ^{ns}	3.05**	-2.50**	-5.53**
paraquat		17.31**	11.01**	0.38**	1.50**	1.32 ^{ns}	1.18**	12.92**	1.13 ^{ns}	1.45 ^{ns}	9.06**	10.97**	9.54**	-3.36**
Z-83		22.38**	15.46**	0.97**	2.21**	0.65 ^{ns}	1.45**	18.55**	1.18 ^{ns}	2.77**	7.75 ^{ns}	11.36**	13.11**	-6.34**
Z-85		10.95**	4.07**	0.37**	1.14**	2.02 ^{ns}	0.36 ^{ns}	5.82 ^{ns}	0.59 ^{ns}	2.23**	0.96 ^{ns}	2.14 ^{ns}	-1.35 ^{ns}	-6.89**
Z-87		5.70**	4.29**	0.42**	-0.26 ^{ns}	2.50 ^{ns}	0.31 ^{ns}	5.10 ^{ns}	1.28 ^{ns}	1.58 ^{ns}	1.71 ^{ns}	4.68 ^{ns}	-0.72 ^{ns}	-0.52 ^{ns}
Z-92		0.17 ^{ns}	-2.36 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	0.95 ^{ns}	0.56 ^{ns}	-2.32 ^{ns}	0.52 ^{ns}	1.81 ^{ns}	6.36 ^{ns}	-2.61 ^{ns}	-3.79 ^{ns}	-0.81 ^{ns}

¹Source of variation (S.V.), degree of freedom (D.F.), coefficient of variation (CV%). Characters: first count of germination test (FCGT) and germination (GER), seedling shoot length (SL) and radicle (RL), seedling dry mass (SDM), speed index (SI), emergence in soil (EMERs), plant shoot length (SLs) and root (RLs) emerged in soil, dry mass of plants emerged in soil (PDMs), cold test (CT), accelerated aging test (AA), electrical conductivity (EC); not significant, 5% and 1% statistical difference by F-test (^{ns}, * and **, respectively). Estimates of the contrasts [Scheffé ($P \leq 0.05$)] with positive numbers are favorable to treatment without application or negative to the treatments with herbicides.

Table 3. Summary of the analysis of variance represented by the mean squares and estimates of the contrasts of treatments with non-selective herbicides applied in the wheat pre-harvest (TBIO Sinuelo) versus the treatment without application of the characters related to the physical and physiological quality of seeds.

S.V. ¹	D.F.	FCGT	GER	SL	RL	SDM	SI	EMERs	SLs	RLs	PDMs	CT	AA	EC
Treatments	12	1105.7**	791.0**	0.95**	9.34**	14.8**	8.63**	537.1**	6.65**	15.91**	130.1**	890.8**	687.3**	66.5**
Fatorial	11	1078.6**	800.7**	0.88**	9.45**	15.9**	9.07**	576.3**	7.24**	16.66**	141.8**	875.0**	680.7**	68.2**
Contrast	1	1403.7**	684.1**	1.75**	8.15**	2.9 ^{ns}	3.79**	105.9**	0.15 ^{ns}	7.66 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1063.8**	760.0**	48.8**
Error	39	5.9	8.7	0.10	0.20	3.6	0.23	4.5	2.00	2.27	22.8	27.4	14.5	0.9
A (Herb.)	3	2624.1	1879.9	2.15	12.73	46.7	14.05	1105.4	23.87	22.72	468.7	2002.1	1027.2	215.5
D (Phen.St.)	2	1311.9	1098.4	0.85	28.17	4.4	15.86	843.6	0.26	39.74	23.0	1292.8	1459.3	36.9
A x D	6	228.1	162.0	0.26	1.57	4.4	4.34	222.6	1.26	5.95	17.9	172.2	247.9	5.9
Average		66.6	74.4	2.9	4.4	27.2	1.37	62.3	11.1	11.0	48.5	78.1	51.2	12.1
CV (%)		4.4	4.9	11.1	10.3	7.0	7.34	4.1	12.7	13.5	9.8	8.2	8.6	4.8
-Contrasts-														
Treatments		19.49**	13.61**	0.68**	1.48**	-0.89 ^{ns}	1.01**	5.35**	0.20 ^{ns}	-1.44 ^{ns}	0.61 ^{ns}	16.97**	14.34**	-3.63**
<i>glufosinate</i>		11.27**	5.16**	0.51**	-0.04 ^{ns}	-1.31 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.74 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-3.26**	0.76 ^{ns}	7.56**	7.89**	-2.20**
<i>glyphosate</i>		18.00**	13.94**	0.94**	2.22**	-0.30 ^{ns}	0.43 ^{ns}	1.59**	0.16 ^{ns}	-0.54 ^{ns}	1.73 ^{ns}	17.88**	9.83**	-5.22**
<i>paraquat</i>		29.20**	21.72**	0.60**	2.28**	-1.05**	2.16**	13.72**	0.34 ^{ns}	-0.51 ^{ns}	-0.65 ^{ns}	25.47**	25.31**	-3.47**
Z-83		37.05**	29.45**	1.26**	2.48**	-0.34 ^{ns}	2.28**	16.27**	1.82 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	7.10 ^{ns}	32.49**	25.92**	-6.75**
Z-85		25.64**	17.33**	0.74**	2.26**	0.10 ^{ns}	1.49**	9.50**	0.90 ^{ns}	-0.43 ^{ns}	4.57 ^{ns}	22.47**	16.33**	-7.77**
Z-87		11.47**	6.45**	0.32 ^{ns}	0.65 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.40 ^{ns}	1.47 ^{ns}	-1.25 ^{ns}	-2.74**	-6.19 ^{ns}	8.54**	11.23**	0.33 ^{ns}
Z-92		3.82 ^{ns}	1.20 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.54 ^{ns}	-3.80**	-0.12 ^{ns}	-5.82**	-0.65**	-2.49**	-3.00 ^{ns}	4.38 ^{ns}	3.89 ^{ns}	-0.35 ^{ns}

¹Source of variation (S.V.), degree of freedom (D.F.), coefficient of variation (CV%). Characters: first count of germination test (FCGT) and germination (GER), seedling shoot length (SL) and radicle (RL), seedling dry mass (SDM), speed index (SI), emergence in soil (EMERs), plant shoot length (SLs) and root (RLs) emerged in soil, dry mass of plants emerged in soil (PDMs), cold test (CT), accelerated aging test (AA), electrical conductivity (EC); not significant, 5% and 1% statistical difference by F-test (*, ** and ***, respectively). Estimates of the contrasts [Scheffé (P ≤ 0.05)] with positive numbers are favorable to treatment without application or negative to the treatments with herbicides.

3.1. BRS Parrudo

The first count of the germination test (FCGT) was 18% higher than for the treatment without application (TWA), differed statistically of the treatments with herbicides, except for the Z-92 stage (Table 4). The most efficient application stage was Z-92 for all the herbicides tested and reduction of this character with the anticipation of application to earlier stages. The *glufosinate-ammonium* presented 8% and 31% increase in relation to *glyphosate* and *paraquat*, respectively. For herbicide treatments, there were an 8% decrease in germination test (GER), differing statistically from the TWA. There was reduction for the first three application stages. In the Z-83 stage, *glyphosate* (73.3%) and *paraquat* (46.0%) were negatively characterized because germination averages below the minimum limit allowed by legislation (80.0%).

The seedling shoot length (SL, 3.2 cm) and dry mass (SDM, 30.1 mg) of herbicide treatments did not differ statistically from the TWA (3.7 cm and 31.6 mg,

G. M. Fipke et al.

Table 4. Characters related to seedling morphology and physiological quality of wheat (BRS Parrudo and TBIO Sinuelo) with application of non-selective herbicide in the pre-harvest.

HER ¹	-BRS Parrudo-					-TBIO Sinuelo-								
	GLU	GLY	PAR	TWA	GLU	GLY	PAR	TWA						
PS	First count of germination test (FCGT, % normal seedlings)													
Z-83	81.3	bA*	56.0	dB	33.0	dC	90.0 ⁽¹⁾	64.7	cA	37.5	cB	10.5	dC	92.0 ⁽¹⁾
Z-85	86.0	bA	78.7	cB	61.3	cC		67.3	cA	66.0	bA	32.0	cB	
Z-87	84.0	bA	87.0	bA	78.5	bB		86.0	bA	80.0	aB	67.0	bC	
Z-92	90.0	aA	92.7	aA	86.0	aB		91.0	aA	84.5	aB	88.0	aA	
	Germination test (GER, % normal seedlings)													
Z-83	89.3	bA	73.3	cB	46.0	cC	91.3 ⁽¹⁾	74.7	cA	47.0	cB	24.5	dC	92.0 ⁽¹⁾
Z-85	89.3	bA	87.5	bA	84.0	bB		81.3	bA	72.5	bB	52.0	cC	
Z-87	86.5	bA	88.5	bA	85.0	bA		93.3	aA	86.0	aB	72.5	bC	
Z-92	94.0	aA	96.0	aA	89.5	aB		93.0	aA	87.0	aB	91.5	aA	
	Seedling shoot length (SL, cm)													
Z-83	3.3	bA	2.4	cB	2.4	cB	3.7 ^(a)	2.5	cA	2.0	bB	2.5	bA	3.5 ⁽¹⁾
Z-85	3.8	aA	3.2	aB	2.9	bB		3.2	bA	2.6	aB	2.7	bB	
Z-87	3.2	bB	2.8	bC	3.8	aA		3.7	aA	3.0	aB	3.1	aB	
Z-92	3.2	bC	3.6	aB	4.1	aA		3.0	bB	2.9	aB	3.6	aA	
	Seedling radicle length (RL, cm)													
Z-83	6.0	aA	3.0	dB	2.9	cB	6.2 ⁽¹⁾	4.9	cA	2.0	bC	3.1	bB	5.8 ⁽¹⁾
Z-85	6.4	aA	5.1	cB	3.6	bC		5.7	bA	2.4	bB	2.5	bB	
Z-87	6.9	aA	6.2	bB	6.2	aB		6.6	aA	4.8	aB	4.0	aC	
Z-92	6.5	aA	6.9	aA	5.9	aB		6.2	aA	5.2	aB	4.5	aC	
	Seedling dry mass (SDM, mg)													
Z-83	31.4	aA	31.3	aA	30.3	bA	31.6 ^(a)	26.6	bA	26.3	aA	27.4	bA	26.4 ^(a)
Z-85	26.7	bB	28.4	aB	33.7	aA		26.9	bA	27.0	aA	25.1	bA	
Z-87	27.3	bB	32.6	aA	27.5	bB		26.6	bA	25.2	aA	26.0	bA	
Z-92	31.8	aA	30.5	aA	29.7	bA		30.8	aA	28.5	aA	31.4	aA	

¹Herbicides (HER), phenological stage (PS), *glufosinate-ammonium* (GLU), *glyphosate* (GLY), *paraquat* (PAR), treatment without application (TWA). *Lowercase letters (PS within each HER) and uppercase (HER within each PS) distinct differ [Scott-Knott ($P \leq 0.05$)]. Results of the contrast [Scheffé ($P \leq 0.05$)] are favorable to treatment without application⁽¹⁾, treatment with herbicides⁽¹⁾ and not significant^(a).

respectively). In two early stages (Z-83 and Z-85) the applications of *glufosinate-ammonium* originated seedlings of largest SL; in contrast, to the last two application stages (Z-87 and Z-92), *paraquat* applications have higher seedling. The Z-92 stage did not statistically differ from TWA in SL. As for SDM, the applications in the Z-83 and Z-92 stages are independent of the herbicide used; the treatment with *paraquat* applied to Z-85 resulted in heavier seedlings, as well as, *glyphosate* in the Z-87 stage. Seedling radicle length (RL) was also influenced by

Table 5. Characters related to seedling morphology and physiological quality of wheat (BRS Parrudo and TBIO Sinuelo) emerged in soil with application of non-selective herbicide in the pre-harvest.

HER ¹	-BRS Parrudo-						-TBIO Sinuelo-							
	GLU	GLY	PAR	TWA	GLU	GLY	PAR	TWA						
PS	Speed index (SI, % normal seedlings)													
Z-83	1.8	bA*	1.6	bA	0.9	cB	2.1 ⁽¹⁾	1.3	bA	1.3	bA	0.3	dB	1.726 ⁽¹⁾
Z-85	1.3	cB	2.1	aA	1.5	bB		1.4	bA	1.4	bA	0.6	cB	
Z-87	2.1	aA	2.1	aA	1.5	bB		1.6	aB	1.9	aA	1.1	bC	
Z-92	2.1	aA	2.0	aA	2.2	aA		1.9	aA	1.5	bB	1.9	aA	
	Emergence in soil (EMERs, % normal seedlings)													
Z-83	55.5	bB	70.0	bA	44.7	cB	85.5 ⁽¹⁾	60.7	cA	60.0	cA	13.0	dB	70.6 ⁽¹⁾
Z-85	81.5	aA	84.5	aA	64.7	bB		61.3	cA	62.0	cA	40.7	cB	
Z-87	83.0	aA	84.0	aA	67.5	bB		75.0	bA	70.7	bA	58.7	bB	
Z-92	91.5	aA	86.5	aA	86.0	aA		79.5	aA	78.7	aA	80.0	aA	
	Plant shoot length emerged in soil (SLs, cm)													
Z-83	13.5	aA	10.7	bB	11.3	aB	13.0 ^{**}	10.6	aA	9.3	bA	8.8	bA	11.3 ^{**}
Z-85	13.1	aA	12.4	aA	11.8	aA		10.3	aA	10.5	bA	10.5	bA	
Z-87	9.9	bB	13.0	aA	12.3	aA		12.4	aA	12.8	aA	12.6	aA	
Z-92	12.9	aA	12.5	aA	12.2	aA		11.7	aA	12.2	aA	12.1	aA	
	Plant root length emerged in soil (RLs, cm)													
Z-83	12.5	aA	11.5	bA	12.4	aA	14.9 ⁽¹⁾	13.1	aA	8.1	bB	8.2	bB	9.7 ^{**}
Z-85	12.4	aA	12.6	bA	13.1	aA		12.2	aA	8.5	bB	9.8	bB	
Z-87	11.6	aB	14.5	aA	13.8	aA		14.3	aA	11.9	aB	11.2	aB	
Z-92	12.2	aB	12.7	bB	14.5	aA		12.5	aA	12.5	aA	11.8	aA	
	Plant dry mass emerged in soil (PDMs, mg)													
Z-83	52.9	bB	59.7	bA	51.4	aB	62.4 ^{**}	44.1	bA	39.7	cA	42.2	bA	49.1 ^{**}
Z-85	63.9	aA	68.8	aA	51.7	aB		44.6	bA	44.0	cA	45.0	bA	
Z-87	56.5	bB	70.4	aA	55.2	aB		52.1	aA	56.3	aA	57.4	aA	
Z-92	59.2	aA	53.8	bA	55.1	aA		52.5	aA	49.4	bA	54.4	aA	

¹Herbicides (HER), phenological stage (PS), *glufosinate-ammonium* (GLU), *glyphosate* (GLY), *paraquat* (PAR), treatment without application (TWA). *Lowercase letters (PS within each HER) and uppercase (HER within each PS) distinct differ [Scott-Knott ($P \leq 0.05$)]. Results of the contrast [Scheffé ($P \leq 0.05$)] are favorable to treatment without application⁽¹⁾, treatment with herbicides⁽¹⁾ and not significant^(a).

herbicides, differing statistically from TWA, except for the Z-87 and Z-92 stages. In general, the herbicide *glufosinate-ammonium* independently of the phenological stage of application originated seedlings with higher roots length.

The TWA presented 16% higher germination speed index (SI) than herbicide treatments, differing statistically for the herbicide *paraquat*, as well as, the Z-83 stage (Table 5). The two initial stages presented the smallest indexes, except for the herbicide *glyphosate*. Emergence in soil (EMERs) was 14% higher for TWA

Table 6. Characters related to seed vigor in stress conditions of wheat (BRS Parrudo e TBIO Sinuelo) with application of non-selective herbicide in the pre-harvest.

HER ¹	-BRS Parrudo-					-TBIO Sinuelo-								
	GLU	GLY	PAR	TWA	GLU	GLY	PAR	TWA						
PS	Cold test (CT, % normal seedlings)													
Z-83	95.5	aA*	86.7	bB	58.0	cC	93.5 ¹¹	80.5	bA	48.0	cB	34.0	dC	96.0 ¹¹
Z-85	98.0	aA	93.5	aB	84.7	bC		88.0	bA	72.0	bB	51.0	cC	
Z-87	94.5	aA	93.0	aA	84.5	bB		97.0	aA	91.5	aA	77.0	bB	
Z-92	96.5	aA	95.5	aA	97.5	aA		94.5	aA	92.5	aA	94.0	aA	
	Accelerate aging test (AA, % normal seedlings)													
Z-83	71.0	bA	73.3	ba	25.5	cB	78.0 ¹¹	54.0	aA	35.3	cB	6.5	dC	72.5 ¹¹
Z-85	86.7	aA	86.0	aA	64.7	bB		63.3	aA	51.5	bB	22.0	cC	
Z-87	82.5	aA	84.7	aA	68.7	bB		59.0	aA	67.3	aA	35.3	bB	
Z-92	79.3	aB	80.7	aB	88.7	aA		62.7	aA	70.5	aA	66.0	aA	
	Electrical conductivity test (EC, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)													
Z-83	12.0	bC	22.5	aA	14.7	bB	8.9 ¹¹	13.8	aB	18.8	bA	15.2	bB	8.2 ¹¹
Z-85	14.4	aB	18.8	bA	17.5	aA		13.3	aC	21.0	aA	17.6	aB	
Z-87	8.3	cB	10.2	cA	9.9	cA		7.6	bA	8.7	cA	7.4	cA	
Z-92	9.8	cA	10.5	cA	8.9	cA		8.0	bA	9.1	cA	8.7	cA	

¹Herbicides (HER), phenological stage (PS), *glufosinate-ammonium* (GLU), *glyphosate* (GLY), *paraquat* (PAR), treatment without application (TWA). *Lowercase letters (PS within each HER) and uppercase (HER within each PS) distinct differ [Scott-Knott ($P \leq 0.05$)]. Results of the contrast [Scheffé ($P \leq 0.05$)] are favorable to treatment without application¹¹, treatment with herbicides¹¹ and not significant^{11,0}.

and did not differ statistically for the Z-83, Z-87 and Z-92 stages and also for the herbicides *glufosinate-ammonium* and *glyphosate*. However, the results of plant shoot length (SLs), dry mass (PDMs) and root length (RLs) emerged in soil, coincided with the characters measured in laboratory conditions, *i.e.*, they did not differ statistically for the first two and there were 16% (TWA) for RLs.

To the cold test (CT), TWA did not differ statistically from herbicide treatments, except for the Z-83 stage and the herbicide *paraquat*, for these conditions the TWA obtained increases of 16% and 15%, respectively (Table 6). For the accelerated aging test (AA) there was a reduction for the herbicide *paraquat* (26%) and the Z-83 stage (37%). The electrical conductivity test (EC) showed 47% difference between TWA and herbicide treatments.

For the blotter test (BT) there was no statistical difference between the contrasts, but the herbicide *paraquat* reduced the incidence of fungi by 11% when compared to the TWA (Table 7). There were 53% and 26% incidence of *Fusarium* sp. (FUS) and *Cladosporium cladosporioides* (CLA), respectively. There was a 31% reduction in the incidence of *Alternaria alternata* (ALT) for TWA in relation to herbicide treatments.

Table 7. Percentage of incidence of wheat pathogens (BRS Parrudo and TBIO Sinuelo) and estimates of the contrasts of treatments with non-selective herbicides applied in the wheat pre-harvest (Z-92 stage) versus the treatment without application.

Herbicides	GLU ¹	GLY	PAR	TWA	GLU	GLY	PAR	TWA
Pathogens	-BRS Parrudo-				-TBIO Sinuelo-			
FUS	53.9 aA*	52.0 aA	54.4 aA	53.3 aA	53.9 aB	58.94 aA	63.2 cA	61.5 aA
ALT	16.8 cA	19.4 cA	16.7 cA	13.4 cB	27.8 bA	21.8 bB	19.8 bB	18.1 bB
ASP	0.0 dA	0.0 dA	0.0 dA	0.3 dA	0.0 dA	0.0 dA	0.0 cA	0.4 cA
CLA	25.9 bA	24.3 bA	28.5 bA	28.5 bA	17.5 cA	16.3 cA	16.6 bA	19.4 bA
CUR	2.8 dA	3.3 dA	1.5 dA	1.5 dA	2.5 dA	2.2 dA	0.8 cA	0.4 cA
BIP	0.0 dA	0.3 dA	0.0 dA	0.0 dA	0.4 dA	0.8 dA	0.0 cA	0.0 cA
PHO	2.1 dA	0.7 dA	2.7 dA	2.7 dA	0.0 dA	0.7 dA	0.9 cA	1.7 cA
S.V.	D.F.	Meansquares		Meansquares				
Treatments	3	1.93**		0.18**				
Pathogens	6	6375.9*		892.7*				
Treat x Path.	18	8.42**		2.98**				
Error	84	7.25		8.49				
Average		18.58		14.51				
CV (%)		14.50		20.08				
-Contrasts-								
Treatments		0.22**		-0.06**				
<i>glufosinate</i>		0.23**		-0.08**				
<i>glyphosate</i>		-0.07**		-0.10**				
<i>paraquat</i>		0.51**		0.08**				

¹Herbicides: *glufosinate-ammonium* (GLU), *glyphosate* (GLY), *paraquat* (PAR), treatment without application (TWA). Source of variation (S.V.), degree of freedom (D.F.), coefficient of variation (CV%). Pathogens: *Fusarium* sp. (FUS), *Alternaria/alternata* (ALT), *Aspergillus* sp. (ASP), *Gliosporium/cladosporioides* (CLA), *Currularia lunata* (CUR), *Bipolaris/orokiviana* (BIP), *Phoma* sp. (PHO). *Lowercase letters (pathogens within each herbicide) and uppercase (herbicides within each pathogen) distinct differ [Scott-Knott (P ≤ 0.05)] and results of contrast [Scheffé (P ≤ 0.05)] not significant^{***}.

3.2. TBIO Sinuelo

The FCGT was 42% higher for the TWA than the others (Table 4). The phenological stage of application that provided the lowest reduction was Z-92 for all the herbicides tested and there is reduction of this character with the anticipation for earlier stages. *Glufosinate-ammonium* presented a 15% and 56% increase in relation to *glyphosate* and *paraquat*, respectively. The GER followed this same response, with 26% reduction in herbicide treatments, reduction in the first application stages, and an increase (with no statistical difference in relation to TWA) at the Z-92 stage. The SL (3.5 cm) and RL (5.8 cm) showed a 23 and 34% increase in relation to herbicide treatments (2.9 and 4.3, respectively). For SDM, however, did not differ statistically; however, in absolute numbers to the Z-92 (30.2 mg) applications, weighed seedlings were obtained in relation to the control (26.4 mg).

In absolute numbers, there was emphasis on the Z-92 stage (79%) for the EMERs in relation to TWA (70%), however, no differ statistically; in none of the treatments tested was reached the minimum requirement for use as seeds. For the SLs, RLs and PDMs, there was no statistical difference, except for the herbicide *glufosinate-ammonium*, as well as, Z-87 and Z-92, which had 33%, 28% and 25% higher plant roots than the control.

Germination in CT and AA was higher in TWA treatment (25% and 46%, respectively) compared to herbicides treatment (Table 6). Applications on Z-92 stage (93% and 66%) does not interfere in these characters, when compared to their respective plots without application (96% and 72%). The deterioration in seeds imposed by application of herbicides was evidenced by present EC twice against TWA, except for the Z-87 stage and Z-92 which did not differ statistically. For BT there were no statistical differences between the contrasts; (58%) and ALT (23%), which presented a double incidence (53%) for treatment with *glufosinate-ammonium* compared to TWA (Table 7).

4. Discussion

The results from the FCGT and GER tests showed the same relation in their means, with a reduction of the physiological potential with applications previous to the Z-87 stage, as well as, the use of *glyphosate* and *paraquat* herbicides. These two herbicides affect wheat germination, with a more pronounced effect for the second that is 7% more harmful than *glyphosate* [4]. The *glufosinate-ammonium* when applied in pre-harvest with 26, 33, 40 days after flowering does not affect the germination in relation to control, without application [12]. On the other hand, doses from 1 kg·ha⁻¹ of *glyphosate* applied to winter wheat at the Z-87 stage reduce initial vigor, germination and increase the occurrence of abnormal seedlings [26].

As for the application stage, [4] obtained an increase in germination in early applications, as in stage 11.2 [27]. This phenological stage comprises the interval between stage Z-83 and Z-87, in this way, opposing the results of the present study. The authors report that application at a later phenological stage was compromised by adverse climatic conditions during the harvest period. Sustaining this narrative, [13] also claim that there is no reduction in germination, since the seeds are in physiological maturity, 34% - 40% seed moisture and with plant tissues of yellowing. The application with moisture contents of the seed, such as 49% - 53%, reduces germination by up to 70% [28]. Comparing with our results, we can infer that the pre-harvest application of the herbicide *glufosinate-ammonium* does not affect the physiological quality expressed by the vigor and germination of seeds in the wheat crop. However, the most efficient application stage does not correspond to a satisfactory harvest anticipation period, and its technical and economic viability is questionable.

The SL and RL are decreased by the application of herbicides, regardless of the phenological stage of application, and there is a tendency for the maintenance of

growth expression when using *glufosinate-ammonium* applied in Z-92. There is a negative influence among herbicides compared to TWA, because seedlings with shoot and smaller rootlets are obtained [4]. For *glyphosate*, radicle damage is much higher in relation to shoot, with an average reduction of 2.5 cm in relation to treatments without the application of herbicides [26]. In relation to the application of this herbicide in post-emergence, the shikimic acid content rises in all the parts of plant, accumulating in the root, stem and leaves. This concentration continues to increase in the roots until seven days after application, while in the other parts of the plant, it decreases [5]. This accumulation in the roots may be related with the subsequent rise of seedlings with minor leaf and root primitives. The SDM was not affected by the use of herbicides, regardless of the application stage. From the Z-83 stage, [4] report that there is reduction in the mass accumulation of plants coming from desiccation. The dry mass is 10% smaller with use of $2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of *glyphosate*, with further reduction (17%) in the rootlets, specifically [26]. In the present study, the methodology used in the measurement of the dry mass may have contributed to the fact that no statistical difference was found between the treatments. Firstly, only normal seedlings were chosen, even though the rate of occurrence of the abnormal ones was much higher. Later, it would be more plausible to remove the seed for measurement, since it represents a large part of the mass of seedlings with only four days.

There were reductions in the IS and EMERs inherent in the use of herbicides; the results followed the trend of tests expressing initial vigor and final germination (PCGT and GER). Smaller reductions were observed with use of *glufosinate-ammonium* and applications on Z-92 stage. In sand, seed emergence from plants desiccated with *glyphosate* at the Z-87 stage, when allocated up to 4 cm deep, did not differ statistically from the non-desiccated control [26]. With application to the milky grain stage (Z-79), [29] report that there is a 42% reduction in initial establishment rate and in the final plant stand due to low germination. For the conditions of the present study it is important to emphasize that the cultivar TBIO Sinuelo presented EMERs very reduced, below the 80% required by the legislation [30]. However, it was observed that this fact was not due to the pre-harvest application, because the TWA also presented germination below the required standard.

For growth characters measured in soil conditions (SLs, RLs and PDMs) there were no interferences from the use of herbicides. However, when comparing cultivars, BRS Parrudo obtained larger SLs in the TWA treatment, and TBIO Sinuelo in the treatments with *glufosinate-ammonium* applied in the Z-87 and Z-92 stages. The size of the coleoptile can be affected, generating smaller seedlings, however, this is an inconsistent evaluation to express the vigor. Plants with more than one week are necessary for shoot and root evaluation [29]. The harmful effects of herbicide seed germination are inhibited under sand substrate conditions and do not differ statistically from the control treatment (without application) on shoot length and radicle, as well as, on the mass accumulation of

both structures [26]. Once again, the methodology used in our study may have contributed to the conflicting results with the literature. Plants with 20 days were used, *i.e.* they weren't being nourished by the reserves of the seed, and variability may have arisen by conditions imposed by the environment.

The tests that express the physiological potential under adverse stress conditions (CT and AA) differed in terms of plant cultivars. For BRS Sinuelo, both tests did not differ from TWA and TBIO Sinuelo treatment with herbicides have damaged the germination. Using the cultivar Quartzo, [4] report the toxic effect caused by their herbicides under germination by the same two tests, corroborating with the results of the present study for the cultivar TBIO Sinuelo. In order, to separate wheat lots and cultivars, the cold test is not suitable for evaluating the vigor of wheat seeds [31]. The authors report that the test is related to germination only when the seeds with visible germination start are used. Thus, the use of only those seeds that initiate the protrusion of the primary root at seven days at 5°C is indicated. This may have contributed because different results were obtained at the cultivar level. Already for the vigor expressed by AA, there is a close relationship with germination. The deterioration rate of low quality seeds is stimulated by exposure to high temperature and relative humidity [32]. Therefore, for the BRS Parrudo it can be affirmed that the application of herbicides in the pre-harvest does not change the quality expressed by this character.

Higher seed deterioration was evidenced by high EC measured in herbicide treatments, regardless of the active ingredient in the first two application stages (Z-83 and Z-85). These results corroborate [4] with application of the herbicides *glyphosate* and *paraquat* in the pre-harvest, which directly interferes with the vigor and germination of wheat seeds, presenting absolute values up to 34 $\mu\text{S cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. The authors cite the most deleterious effect of *glyphosate* herbicide when applied in advance of *paraquat* when applied closest to harvest. The time of reestablishment of the integrity of the seed membranes embedded in the solution and consequent release of solutes into the external environment is measured by the EC test [33]. In this way, we can infer that the phenological stage in which pre-harvest herbicides are applied is decisive for obtaining vigorous (less deteriorated) seeds.

The fungal incidence measured by BT was not affected by herbicide treatments, with presence of pathogens in any of the conduction conditions of the experiment. The pathogen *F. graminearum* (teleomorph *Giberellazeae*), causes giberela in cereals, is widely disseminated in the agricultural field areas, and was present in practically all the samples evaluated in our experiment. High levels of rainfall during the harvest period contribute to the infection of seeds [34]. Infected seed dispersal is characterized as the main source of inoculum, briefly rendering the cultivation unfeasible [20]. In our study, comparison was made only between herbicide treatments and TWA. The application phenological stages were disregarded because the storage period of seeds harvested first, could contribute to a higher incidence of pathogens. Therefore, seeds from the Z-92

application were used, which were harvested the same week as the TWA. Rainfall that occurred in this period was the same for all treatments. That is, there is no influence between herbicides and the incidence of pathogens.

The quality of seeds from plants where pre-harvest herbicide applications were strongly influenced by the phenological stage and the proximity of phenological maturation at the time of application than by the dose of herbicide or cultivar [29]. According to the most of our results, this practice is detrimental to vigor and seed germination. If, there are agronomic needs to anticipate the wheat harvest, one should choose *glufosinate-ammonium* from the Z-87 stage. In this way, there will be little reduction in the physiological quality of seeds.

5. Conclusions

The application of non-selective herbicides on wheat pre-harvest impairs the physical and physiological quality and promotes faster deterioration. Vigor is reduced under stress conditions by cold test and accelerated aging. There is no influence on seed sanity.

In general, applications in phenological stages prior to Z-87 stage, especially with the herbicide *paraquat* should be avoided.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Higher-Level Personnel Improvement Coordination (Capes-Brazil) for the scholarship provided, The National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

References

- [1] Pereira, T., Coelho, C.M.M., Souza, C.A., Mantovani, A. and Mathias, V. (2015) Dessecação Química Para Antecipação de Colheita Em Cultivares de Soja. *Seminars Ciências Agrárias*, **36**, 2383. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n4p2383>
- [2] Pires, J.L.F., Vargas, L. and Cunha, G.R. (2011) Trigo No Brasil - Bases Para a Produção Competitiva E Sustentável. Passo Fundo.
- [3] Carneiro, L.M.T.A., Biagi, J.D., De Freitas, J.G., Carneiro, M.C. and Felício, J.C. (2005) Diferentes Épocas de Colheita, Secagem E Armazenamento Na Qualidade de Grãos de Trigo Comum E Duro. *Bragantia, Instituto Agronômico*, 127-137. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000100014>
- [4] Bellé, C., Kulczynski, S.M., Basso, C.J., Edu Kaspary, T., Lamego, F.P. and Pinto, M.A.B. (2014) Yield and Quality of Wheat Seeds as a Function of Desiccation Stages and Herbicides. *Journal of Seed Science, ABRATES - Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes*, **36**, 63-70. <https://doi.org/10.1590/S2317-15372014000100008>
- [5] Bresnahan, G.A., Manthey, F.A., Howatt, K.A. and Chakraborty, M. (2003) *Glyphosate* Applied Preharvest Induces Shikimic Acid Accumulation in Hard Red Spring Wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 4004-4007. <https://doi.org/10.1021/jf0301753>
- [6] Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2017) Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons

- [7] Griffin, J.L., Boudreaux, J.M. and Miller, D.K. (2010) Herbicides As Harvest Aids. *Weed Science*, **58**, 355-358. <https://doi.org/10.1614/WS-09-108.1>
- [8] Jablonkai, I. (2011) Molecular Mechanism of Action of Herbicides. In: Hasaneen, M.N., Ed., *Herbicides - Mechanisms and Mode of Action*, InTech, 3-24. <https://doi.org/10.5772/31251>
- [9] Sherwani, S.I., Arif, I.A. and Khan, H.A. (2015) Modes of Action of Different Classes of Herbicides. In: Price, A., Kelton, J. and Sarunaite, L., Eds., *Herbicides, Physiology of Action, and Safety*, InTech, 165-186. <https://doi.org/10.5772/61779>
- [10] Cessna, A.J., Darwent, A.L., Kirkland, K.A., Townley-Smith, L., Harker, K.N. and Lefkovich, L. (1994) Residues of *Glyphosate* and Its Methabolite AMPA in Wheat Seed and Foliage Following Pre-Harvest Application. *Canadian Journal of Plant Science*, **74**, 653-661. <https://doi.org/10.4141/cjps94-117>
- [11] Hanft, J.M. and Wych, R.D. (1982) Visual Indicators of Physiological Maturity of Hard Red Spring Wheat. *Crop Science*, **22**, 584. <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200030036x>
- [12] Santos, P.R.R. and Vicente, D. (2009) Momento Fisiológico Das Plantas de Trigo Para a Dessecação E Seus Efeitos No Rendimento de Grãos. *Cultivando o saber*, **2**, 52-62. https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/591a1fec7d5fb.pdf
- [13] Mellado, Z.M. and Pedreros, L.A. (2005) Efecto de Herbicidas Aplicados Durante La Madurez Del Grano de Trigo En El Rendimiento Y Calidad Del Grano. *Agricultura Técnica*, **65**, 312-318. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000300009>
- [14] C. Q. F. S. Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016) Manual de Calagem E Adubação Para Os Estados Do Rio Grande Do Sul E Santa Catarina. 11th Edition, Porto Alegre.
- [15] Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2017) Informações Técnicas Para Trigo E Triticale. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155787/1/Informacoes-Tecnicas-para-Trigo-e-Triticale-Safra-2017-OL.pdf>
- [16] Zadoks, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F. (1974) A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research*, **14**, 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- [17] Brasil Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2009) Regras Para Análise de Sementes. MAPA/ACS. http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf/@download/file/2946_regras_analise_sementes.pdf
- [18] Nakagawa, J.T. (1999) Testes de Vigor Baseados No Desempenho Das Plântulas. In: Kryzanoski, F.C., Vieira, R.D. and Franca Neto, J.B., Eds., *Vigor de Sementes: Conceitos E Testes*, 164.
- [19] Rampim, L., Rodrigues-Costa, A.C.P., Nacke, H., Klein, J. and Guimarães, V.F. (2012) Qualidade Fisiológica de Sementes de Três Cultivares de Trigo Submetidas À Inoculação E Diferentes Tratamentos. *Revista Brasileira de Sementes*, **34**, 678-685. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000400020>
- [20] Garcia Júnior, D., Vechiato, M.H. and Menten, J.O.M. (2008) Efeito de Fungicidas No Controle de Fusarium Graminearum, Germinação, Emergência E Altura de Plântulas Em Sementes de Trigo. *Summa Phytopathologica*, **34**, 280-283. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052008000300018>
- [21] Nogueira, J.L., Silva, B.A. da, Carvalho, T.C. de and Panobianco, M. (2013) Teste de

- Condutividade Elétrica Para Avaliação Do Potencial Fisiológico de Sementes de Aveia Preta. *Revista Ceres*, **60**, 896-901.
<https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000600019>
- [22] Kobayashi, L. and Pires, A.P. (2011) Levantamento de Fungos Em Sementes de Trigo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **41**, 572-578.
<https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.12388>
- [23] Henning, A.A. (2005) Patologia E Tratamento de Sementes: Noções Gerais. Londrina: Embrapa Soja.
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSo-2009-09/26692/1/documento264.pdf>
- [24] Cruz, C.D. (2013) GENES—A Software Package for Analysis in Experimental Statistics and Quantitative Genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, **35**, 271-276.
<https://doi.org/10.4025/actasciagr.v35i3.21251>
- [25] Ferreira, D.F. (2011) Sisvar: A Computer Statistical Analysis System. *Ciência e Agrotecnologia*, **35**, 1039-1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- [26] Jaskulski, D. and Jaskulska, I. (2014) The Effect of Pre-Harvest Glyphosate Application on Grain Quality and Volunteer Winter Wheat. *Romanian Agricultural Research*, **31**, 283-289.
https://www.researchgate.net/publication/286226726_The_effect_of_pre-harvest_glyphosate_application_on_grain_quality_and_volunteer_winter_wheat
- [27] Large, E.C. (1954) Growth Stages in Cereals. Illustration Od the Feeks Scale. *Plant Pathology*, **3**, 128-129. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x>
- [28] Calviño, P.A., Studdert, G.A., Abbate, P.E., Andrade, F.H. and Redolatti, M. (2002) Use of Non-Selective Herbicides for Wheat Physiological and Harvest Maturity Acceleration. *Field Crops Research*, **77**, 191-199.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00072-2)
- [29] Yenish, J.P. and Young, F.L. (2000) Effect of Preharvest Glyphosate Application on Seed and Seedling Quality of Spring Wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Technology*, **14**, 212-217.
[https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0212:EOPGAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0212:EOPGAO]2.0.CO;2)
- [30] Brasil Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2013) Instrução Normativa n° 45, de 17 de Setembro de 2013. Brasília, DF.
<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/INN45de17desetembrode2013.pdf>
- [31] Fanan, S., Medina, P.F., Lima, T.C. and Marcos Filho, J. (2006) Avaliação Do Vigor de Sementes de Trigo Pelos Tetes de Envelhecimento Acelerado E de Prio. *Revista Brasileira de Sementes*, **28**, 152-158.
<https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000200021>
- [32] Ohlson, O. de C., Krzyzanowski, F.C., Caieiro, J.T. and Panobianco, M. (2010) Teste de Envelhecimento Acelerado Em Sementes de Trigo. *Revista Brasileira de Sementes*, **32**, 118-124. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000400013>
- [33] Mertz, L.M., Segalin, S.R., Huth, C. and Rosa, T.D.A. (2012) Condutividade Elétrica Individual Para a Avaliação Do Potencial Fisiológico de Sementes de Trigo. *Informativo ABRATES*, **22**, 35-39. <http://www.abrates.org.br/downloads/file/54>
- [34] Brzezinski, C.R., Zucareli, C., Henning, F.A., Abati, J., Prando, A.M. and Henning, A.A. (2014) Nitrogênio E Inoculação Com Azospirillum Na Qualidade Fisiológica E Sanitária de Sementes de Trigo. *Revista de Ciências Agrárias—Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, **57**, 257-265.
<https://doi.org/10.4322/rca.ao1391>

5 ARTIGO 3 - MORFOLOGIA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE PLÂNTULAS ORIGINÁRIAS DE TRIGO DESSECADO NA PRÉ-COLHEITA

RESUMO - A prática de dessecação na pré-colheita contribui para a colheita mecanizada de sementes evitando a perda de produção por fatores abióticos de constante ocorrência. O objetivo desse trabalho foi verificar se a dessecação de plantas de trigo na pré-colheita afeta aspectos morfológicos e fisiológicos das plântulas provindas das sementes das plantas dessecadas. Para isso, foram conduzidos experimentos inicialmente no campo, onde os tratamentos foram aplicados, e, no laboratório onde foram avaliados os parâmetros morfológicos e fisiológicos. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de herbicidas (*glufosinate-ammonium*, *glyphosate* e *paraquat*) e estádios fenológicos de aplicação (Zadoks: 83, 85, 87 e 92) acrescido de tratamento adicional (sem aplicação). Para a cultivar TBIO Sinuelo, a utilização de herbicidas reduziu em 52 e 46% o comprimento e a área projetada da parte aérea de plântulas, respectivamente, assim como reduziu o comprimento, área de superfície e volume de raízes. Para a cultivar BRS Parrudo, a aplicações de herbicidas na pré-colheita não interferiram nos parâmetros radiculares quando comparado com o tratamento sem aplicação. A concentração de peróxido de hidrogênio foi acrescida naqueles tratamentos que receberam a aplicação de herbicidas, assim como a atividade da enzima guaiacol peroxidase. Fisiologicamente, há maior produção de peróxido de hidrogênio para a cultivar TBIO Sinuelo, aumento na atividade da enzima guaiacol peroxidase para ambas cultivares, assim como, não há interferência na atividade da enzima superóxido dismutase. A morfologia da parte aérea e do sistema radicular são afetados negativamente com aumento da atividade enzimática e conteúdo de peróxido de hidrogênio em plântulas provindas de sementes das plantas dessecadas na pré-colheita.

Palavras-chave: amônio-glufosinate, glifosato, paraquate, *Triticum aestivum* (L).

MORPHOLOGY AND ENZYMATIC ACTIVITY OF SEEDLING FROM WHEAT DESICCATED IN PRE-HARVEST

ABSTRACT - Pre-harvest desiccation practice contributes to the mechanical harvesting of seeds prevent reduction of yield by abiotic factors even occurrence. The objective of this work was to evaluate if the desiccation of wheat plants in the pre-harvest affects the morphological and physiological aspects of the seedlings from the seeds of the desiccated plants. For this, experiments were done initially in the field, where the treatments were applied, and in the laboratory where the morphological and physiological parameters were evaluated. The treatments were constituted by the combination of herbicides (*glufosinate-ammonium*, *glyphosate*, and *paraquat*) and phenological stages (Zadoks: 83, 85, 87 and 92) plus additional treatment (without application). For cultivar *TBIO Sinuelo*, the use of herbicides reduced in 52 and 46% the length and the projected area of the shoot, respectively, as well as reduction of the length, surface area and volume roots. For the cultivar, *BRS Parrudo*, herbicide applications at the preharvest did not interfere with the root parameters when compared to the treatment without application. The concentration of hydrogen peroxide was increased in those treatments that received the application of herbicides, as well as, the activity of guaiacol peroxidase enzyme. Physiologically, there is a higher production of hydrogen peroxide for cultivar *TBIO Sinuelo*, increase in the activity of guaiacol peroxidase enzyme for both cultivars, as well as, there is no interference in superoxide dismutase enzyme activity. The morphology of the shoot and the root are negatively affected by increased enzymatic activity and hydrogen peroxide content in seedlings coming from the plants seeds desiccateds in the preharvest.

Keywords: *glufosinate-ammonium*, *glyphosate*, *paraquat*, *Triticum aestivum* (L).

INTRODUÇÃO

A aplicação de herbicidas não-seletivos antes da colheita das culturas agrícolas visa o controle de plantas daninhas de ocorrência tardia e também acelera a secagem da planta para promover uma colheita rápida e eficiente (BRESNAHAN et al., 2003). Após a maturação fisiológica, as sementes são danificadas fisiologicamente se ficarem expostas as intempéries climáticas. Assim, a dessecação da cultura na pré-colheita minimiza indiretamente a deterioração das sementes (BELLÉ et al., 2014). Na cultura do trigo essa é uma prática utilizada em vários países, porém, é importante salientar que é preciso obedecer a legislação vigente quanto aos ingredientes ativos utilizados e o período de carência até a comercialização da produção.

Dentre os mecanismos de ação dos agrotóxicos aplicados em pré-colheita, é comum a utilização de herbicidas de ação total, conhecidos como desseccantes. Os inibidores da enzima

glutamina sintetase (*glufosinate-ammonium*) são moléculas que inibem a atividade da enzima elevando os níveis de amônia e interferindo no metabolismo do nitrogênio. Os inibidores da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato-sintase (*glyphosate*) são moléculas que atuam no bloqueio desta enzima elevando os níveis de chiquimato no vacúolo, impedindo a síntese de aminoácidos aromáticos. Os inibidores do fotossistema I (*paraquat*) são moléculas que atuam como aceptores de elétrons tornando-se radicais livres que levam a disrupção de membranas celulares (OLIVEIRA Jr, 2011).

A prática da dessecação na pré-colheita tem sido frequente em lavouras comerciais no Brasil, embora não haja dados experimentais contundentes sobre a sua eficiência prática, principalmente sobre a qualidade das sementes. Pesquisas recentes tem indicado redução na qualidade física e fisiológica de sementes motivadas pelo tipo de mecanismo de ação utilizado e ao estágio fenológico em que este herbicida foi aplicado (BELLÉ et al., 2014; KRENCHINSKI et al., 2017; FIPKE et al., 2018). Isso indica que aspectos morfológicos e fisiológicos dessas plântulas têm sido afetados, pois são evidenciadas altas porcentagens de plântulas anormais (BRASIL, 2009).

O *glyphosate* quando aplicado entre os estádios 85-87 (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974), influenciou negativamente a velocidade de germinação, comprimento e massa seca de plântulas de trigo, reduzindo principalmente a profundidade do sistema radicular (JASKULSKI; JASKULSKA, 2014). Já a aplicação de *glufosinate-ammonium* no estágio 92 não influenciou no comprimento e massa de plântulas (FIPKE et al., 2018). Quando aplicado no estágio 80, *paraquat* reduziu a massa de sementes e o comprimento total de plântulas (KRENCHINSKI et al., 2017). É importante salientar que todos os dados mencionados acima foram obtidos em plântulas emergidas em condições controladas. Na pesquisa citada, foram mensurados o comprimento correspondente entre a ponta da folha e a semente, e da semente até a ponta da raiz principal, desconsiderando-se sua espessura. Torna-se imprescindível mensurar outros componentes morfológicos que representem a emissão de folhas e raízes secundárias.

Problemas relacionados ao crescimento de plântulas podem estar relacionados a questões bioquímicas e fisiológicas. O metabolismo aeróbico, assim como condições de estresse biótico ou abiótico levam a produção de espécies reativas de oxigênio (do inglês *reactive oxygen species*, ROS) nas células, resultando em estresse oxidativo (DEL-BUONO et al., 2011). Portanto, as ROS atuam nas vias de sinalização para expressão gênica em resposta a situações de estresse. Quando acumuladas nas células, as ROS podem reagir com moléculas biológicas e causar danos irreversíveis que podem levar à morte celular (BARBOSA et al.,

2014). Um exemplo de ROS é o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), produzido a partir da adição de elétrons ao O_2 ou a partir da redução de radicais hidroxil, também servindo como substrato para enzimas antioxidantes (BHATTACHARJEE, 2010). Para redução das ROS e eliminação do dano oxidativo, as plantas possuem um sistema de defesa antioxidante de natureza enzimática ou não (GILL; TUTEJA, 2010). Dentre as enzimas produzidas em cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos, destacam-se a superóxido dismutase, catalase, peroxidases, peroxirredoxinas, dentre outras (MITTLER, 2002).

É evidente que alguns herbicidas utilizados na dessecação do trigo afetam seu desempenho produtivo e qualidade fisiológica das sementes. Torna-se necessário investigar as causas das anomalias em plântulas, desta forma contribuindo para a recomendação ou não desta prática agrônômica. A partir do exposto, o objetivo desse trabalho foi verificar se a dessecação de plantas de trigo na pré-colheita afeta aspectos morfológicos e fisiológicos das plântulas provindas das sementes das plantas dessecadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O experimento de campo foi conduzido na estação de cultivo de 2016 em Santa Maria, RS, Brasil ($29^{\circ} 42' S$, $53^{\circ} 42' O$ e altitude de 116 m). As duas cultivares de trigo utilizadas (BRS Parrudo e TBIO Sinuelo) foram manejadas de acordo com as indicações técnicas para a região de cultivo (EMBRAPA, 2017). Na pré-colheita da cultura, os herbicidas não-seletivos foram aplicados (tratamentos). Depois da colheita do experimento de campo, as sementes foram secas até atingirem 13% de umidade. Após, foram armazenadas em pacotes de papel e mantidas sob condições controladas de temperatura e umidade pelo período de três meses.

Descrições dos tratamentos

Os tratamentos foram compostos por herbicidas: *glufosinate-ammonium* [Finale[®], 350 g de ingrediente ativo (i.a.) ha^{-1}], *glyphosate* (Stinger[®], 1440 g i.a. ha^{-1}) e *paraquat* (Gramoxone[®], 400 g i.a. ha^{-1}), estádios fenológicos de aplicação: 83 (semente iniciando a textura de massa e coloração verde, conteúdo pegajoso aos ser amassado pela pressão do polegar), 85 (semente de massa macia e coloração verde clara, quando pressionado com a unha do polegar a marca desaparece rapidamente), 87 (semente de massa dura e coloração vermelha clara, quando pressionada com a unha do polegar a marca permanece) e 92 (semente de massa muito dura e coloração vermelha, não podendo ser amassada pela pressão do polegar); e

tratamento adicional (sem aplicação). Os herbicidas foram aplicados utilizando-se um pulverizador costal pressurizado (200 kPa) a CO₂, montado com uma barra composta por quatro pontas de jato plano (Teejet[®] XR 100.02), espaçadas a 0.5 m, com volume de aplicação equivalente a 150 L ha⁻¹.

Obtenção das plântulas

O teste padrão de germinação foi utilizado para obtenção de plântulas normais. 800 sementes foram semeadas em rolos de papel *germiteste*, umedecidos a 2,5 vezes o conteúdo de sua massa e levadas a incubadora (Biochemical Oxygen Demand EL 202, Eletrolab, São Paulo, SP, Brasil) a 20°C (BRASIL, 2009). Foram consideradas plântulas normais aquelas que apresentaram formação completa do coleóptilo e pelo menos 2 mm de sistema radicular. As plântulas foram seccionadas com lâmina, dividindo-se em parte aérea e raízes para as avaliações.

Morfologia de plântulas

Foram utilizadas plântulas com quatro dias pois representam o resultado do vigor expresso pela primeira contagem do teste de germinação (BRASIL, 2009). Para obtenção das imagens foi utilizado um scanner profissional (XL 10000[®], Epson America, Inc., Long Beach, CA, USA) equipado com uma unidade de luz adicional (TPU). Utilizou-se um software específico (WinRHIZO Pro 2007a[®], Regent Instruments Inc., Ville de Québec, QC, Canada) para a determinação da morfologia de plântulas: comprimento (mm) e área projetada (mm²) da parte aérea; comprimento (mm), área superficial (mm²), diâmetro médio (mm) e volume (mm³) de raízes.

Conteúdo de peróxido de hidrogênio

Foram utilizadas plântulas com oito dias pois representam o resultado do teste padrão de germinação, coincidindo com o período final em que a plântula é nutrida com as reservas das sementes (BRASIL, 2009). Parte aérea de plântulas foram maceradas em nitrogênio líquido, homogeneizadas em ácido tricloroacético (0.1%, w/v), na sequência sendo centrifugadas (12,000 x g, 15 min, 4°C). Uma fração do sobrenadante foi removida adicionando-se um *buffer* de fosfato de potássio (10 mM, pH 7) acrescido de iodeto de potássio (1 M). A concentração do peróxido de hidrogênio (H₂O₂, µmol g⁻¹ de matéria seca) do sobrenadante foi determinada comparando-se a absorbância no comprimento de 390 nm com uma curva de calibração padrão (LORETO; VELIKOVA, 2001).

Enzimas antioxidantes

Foram utilizadas plântulas com oito dias. Parte aérea e raízes de plântulas foram maceradas separadamente em nitrogênio. Para mensurar a atividade da enzima superóxido dismutase [SOD, unidades de enzima (U) mg^{-1} proteína] o método espectrofotométrico foi utilizado (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977). Uma solução contendo fosfato de potássio (50 mM, pH 7.8), metionina (13 mM), riboflavina (2 μM), nitroblue tetrazólio (75 μM), tetraácido de etilenodiamina (0.1 mM) e extrato enzimático (100 μL). A produção fotoquímica de azul de formozana oriunda do nitroblue tetrazólio foi monitorada pelo acréscimo na absorbância de 560 nm. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para inibir a fotorredução de nitrobluetetrazolium em 50% (BEAUCHAMP; FRIDOVICH, 1971). Para mensurar a atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD, U mg^{-1} proteína) obtendo-se o guaiacol como substrato (ZERAİK et al., 2008). Utilizou-se uma solução contendo fosfato de potássio (100 mM, pH 6.5), guaiacol (15 mM) e peróxido de hidrogênio (3 mM). A atividade da enzima foi mensurada pela oxidação do guaiacol para tetraguaiacol por meio da leitura da absorbância em 470 nm. Para calcular a atividade da enzima utilizou-se o coeficiente de extinção molar de $26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Análise de dados

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com os dados sendo verificados quanto aos pressupostos do modelo matemático. Procedeu-se a análise de variância [teste F ($p < 0,05$)] desdobrando-se os graus de liberdade dos tratamentos com herbicidas *versus* o tratamento sem aplicação, em contrastes [Scheffé ($p < 0,05$)]. O teste complementar de agrupamento de médias [Scott-Knott ($p < 0,05$)] foi aplicado para os tratamentos com herbicidas. Utilizou-se os softwares Action[®] (Estatcamp, São Carlos, SP, Brasil) e Genes (CRUZ, 2013).

RESULTADOS

Os caracteres relacionados a morfologia de plântulas não atenderam ao pressuposto da normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk test ($p < 0,05$); para realização do teste F utilizou-se a transformação Box-cox com estimativa para o parâmetro de transformação λ pelo método de máxima verossimilhança. Houveram interações entre os fatores, bem como, diferença estatística para os contrastes envolvendo os tratamentos onde foi utilizado herbicidas na pré-colheita e o tratamento sem aplicação. (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância representada pelos quadrados médios e contrastes entre os tratamentos com aplicação de herbicidas não-seletivos na pré-colheita *versus* o tratamento sem aplicação sobre os caracteres relacionados a morfologia e fisiologia de plântulas de trigo.

FV ¹	GL ²	-----Parte aérea-----					-----Raízes-----					
		CPA	AP	H ₂ O ₂	SOD	POD	CR	AS	DM	VO	SOD	POD
-----BRS Parrudo-----												
Tratamentos	12	171,71*	1,19*	0,0039*	913,09*	852,27*	2763,42*	64,60*	0,0003*	0,01083*	90,29 ^{ns}	60791,61*
Fatorial	11	163,64*	1,11*	0,00382*	992,03*	855,46*	2936,40*	69,59*	0,00032*	0,01176*	97,94 ^{ns}	60967,16*
Contraste	1	260,52*	2,09*	0,00482 ^{ns}	44,74 ^{ns}	817,25*	860,66 ^{ns}	9,66 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	6,17 ^{ns}	58860,58*
Erro	39/26	12,59	0,19	0,00146	213,13	35,58	557,91	8,94	0,00008	0,00124	123,24	2275,99
Estádio Fenológico	3	41,78	0,54	0,00237	355,11	84,96	4540,01	83,03	0,0002	0,01049	18,64	39833,37
Herbicida	2	389,10	1,84	0,00866	1037,83	2736,62	2356,09	108,65	0,0008	0,02479	368,86	169429,19
Est.Fenol. x Herb.	6	149,41	1,15	0,00293	1295,23	613,65	2328,03	49,85	0,00022	0,00805	47,28	35380,05
λ^3		2,05	1,84	-	-	-	1,29	1,99	2,50	1,79	-	-
Média		28,44	2,47	0,07	75,97	67,33	112,43	16,51	0,16	0,19	43,85	507,48
CV (%)		12,5	17,7	55,1	19,2	8,9	21,0	18,1	5,8	18,2	25,3	9,4
-----TBIO Sinuelo-----												
Tratamentos	12	183,00*	2,80*	0,00318*	1264,10*	4408,68*	6478,14*	136,69*	0,00105*	0,01874*	919,56*	41444,23*
Fatorial	11	143,44*	2,68*	0,00249 ^{ns}	1353,60*	4598,43*	5384,19*	122,09*	0,00113*	0,01772*	1003,08*	45004,85*
Contraste	1	618,27*	4,10*	0,01079**	279,61 ^{ns}	2321,48*	18511,63*	297,40*	0,00011 ^{ns}	0,03*	0,89 ^{ns}	2277,46 ^{ns}
Erro	39/26	10,88	0,16	0,00122	175,45	124,79	137,74	4,03	0,00015	0,00088	260,65	7646,17
Estádio Fenológico	3	300,63	6,21	0,00023	515,09	429,68	9929,55	255,91	0,00259	0,04011	392,06	317,78
Herbicida	2	268,58	4,03	0,0043	4021,14	12409,87	10876,87	181,83	0,00064	0,01907	3824,14	37774,49
Est.Fenol. x Herb.	6	23,12	0,47	0,00302	883,67	4078,99	1280,61	35,26	0,00057	0,00607	368,23	69758,50
λ		-	-	-	-	-	-	-	2,50	0,88	-	-
Média		24,52	2,25	0,11	99,79	95,32	75,59	10,95	0,15	0,13	62,31	446,28
CV (%)		13,5	18,0	31,3	13,3	11,7	15,5	18,3	8,2	23,3	25,9	19,6

¹Fontes de variação (FV), coeficiente de variação (CV%), ²graus de liberdade (GL), GL do erro para caracteres morfológicos (39) e enzimáticos (26); ³ λ estimativa de transformação para aqueles caracteres que não atenderam ao pressuposto da normalidade dos erros. Caracteres: comprimento de parte aérea (CPA, mm), área projetada (AP, mm²), peróxido de hidrogênio (H₂O₂, $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria fresca), superóxido dismutase [SOD, unidades de enzima (U) mg⁻¹ proteína], guaiacol peroxidase (POD, U mg⁻¹ proteína), comprimento de raízes (CR, mm), área superficial (AS, mm²), diâmetro médio (DM, mm) e volume (VO, mm³) de plântulas de trigo; não significativo e 5% de diferença estatística pelo teste F (^{ns} e *, respectivamente).

Morfologia da parte aérea

Os parâmetros avaliados na parte aérea de plântulas foram reduzidos pelos tratamentos com utilização de herbicidas (Figura 1). Para a cultivar TBIO Sinuelo, a utilização de herbicidas reduziu em 52 e 46% o comprimento e a área projetada da parte aérea de plântulas, respectivamente. A aplicação de herbicidas no estágio fenológico 83 reduziu o comprimento (8,4 mm) e a área projetada (1,3 mm²) em relação aos demais estádios. Já para a cultivar BRS Parrudo houve uma redução de 29% no comprimento e de 30% na área de superfície. A aplicação do herbicida *paraquat* no estágio 83, especificamente, promoveu decréscimo no comprimento (5,7 mm) e na área projetada (0,7 mm²), quando comparado com os outros estádios de aplicação. Avaliando-se os estádios fenológicos de aplicação, houve redução no rendimento destas variáveis conforme a aplicação havia sido feita mais antecipadamente para a cultivar TBIO Sinuelo. Este comportamento foi observado apenas com o herbicida *paraquat* na cultivar BRS Parrudo.

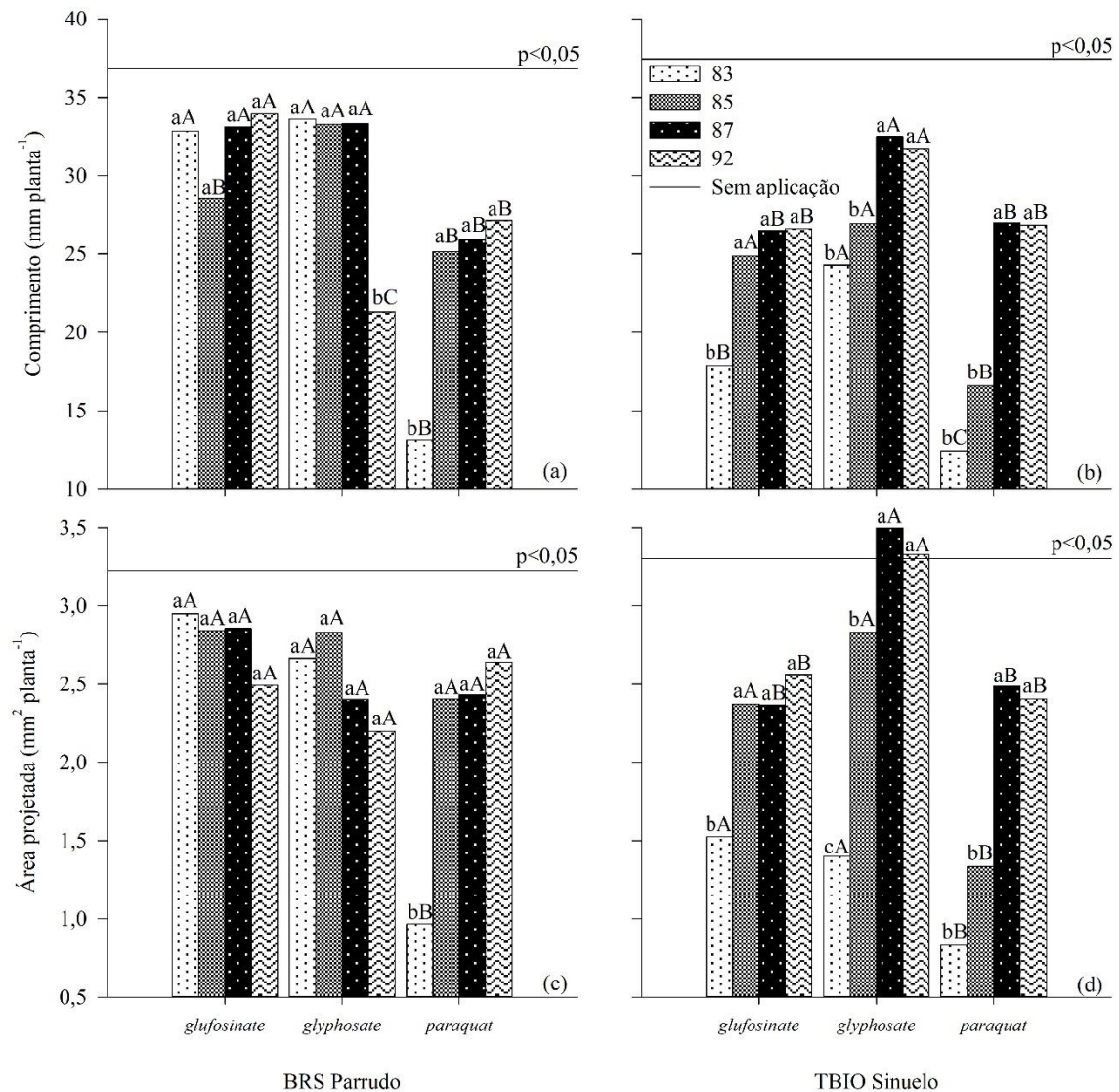


Figura 1. Morfologia de parte aérea: comprimento (a, b), e área projetada (c, d) de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos (HER: *glufosinate*, *glyphosate* e *paraquat*) aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos (EF: Zadoks 83, 85, 87 e 92). Letras minúsculas (EF desdobrados em cada HER) e letras maiúsculas (HER desdobrados em cada EF) distintas diferem [Scott-Knott ($p < 0,05$)]. Resultados do contraste [Scheffé ($p < 0,05$)] entre os tratamentos com e sem a aplicação de herbicidas (p-valor e ^{ns}).

Morfologia de raízes

Os atributos morfológicos do sistema radicular diferiram na resposta das cultivares a aplicação dos herbicidas, exceto para o diâmetro médio de raízes (Figura 2). Para a variável mencionada, não houve influência dos herbicidas aplicados na pré-colheita para ambas cultivares. No tratamento onde não foram aplicados herbicidas, foi apresentado um incremento médio de 93, 81 e 70 % para o comprimento, área superficial e volume de raízes,

respectivamente, na cultivar TBIO Sinuelo. Para todos os herbicidas testados as aplicações no primeiro estágio fenológico reduziram os parâmetros radiculares. Fazendo uma relação entre o primeiro e o último estágio fenológico de aplicação (83 e 92), o comprimento (67 mm), área superficial (10 mm^2) e o volume de raízes (0.13 mm^3) foram reduzidos.

Para a cultivar BRS Parrudo, as aplicações de herbicidas na pré-colheita não interferiram nos parâmetros radiculares quando comparado com o tratamento sem aplicação. O herbicida *glufosinate-ammonium* foi o mais seletivo, independentemente do estágio fenológico de aplicação. O herbicida *glyphosate* reduziu em 13% (comprimento), 15% (área superficial) e 16% (volume de raízes) quando se compara as aplicações realizadas nos dois primeiros estágios fenológicos (83 e 85) em relação à média dos experimentos. Já para o herbicida *paraquat* essa redução pode variar de 83-75 mm, $75-13 \text{ mm}^2$ e $0.13-0.01 \text{ mm}^3$, para o comprimento, área superficial e volume de raízes, respectivamente.

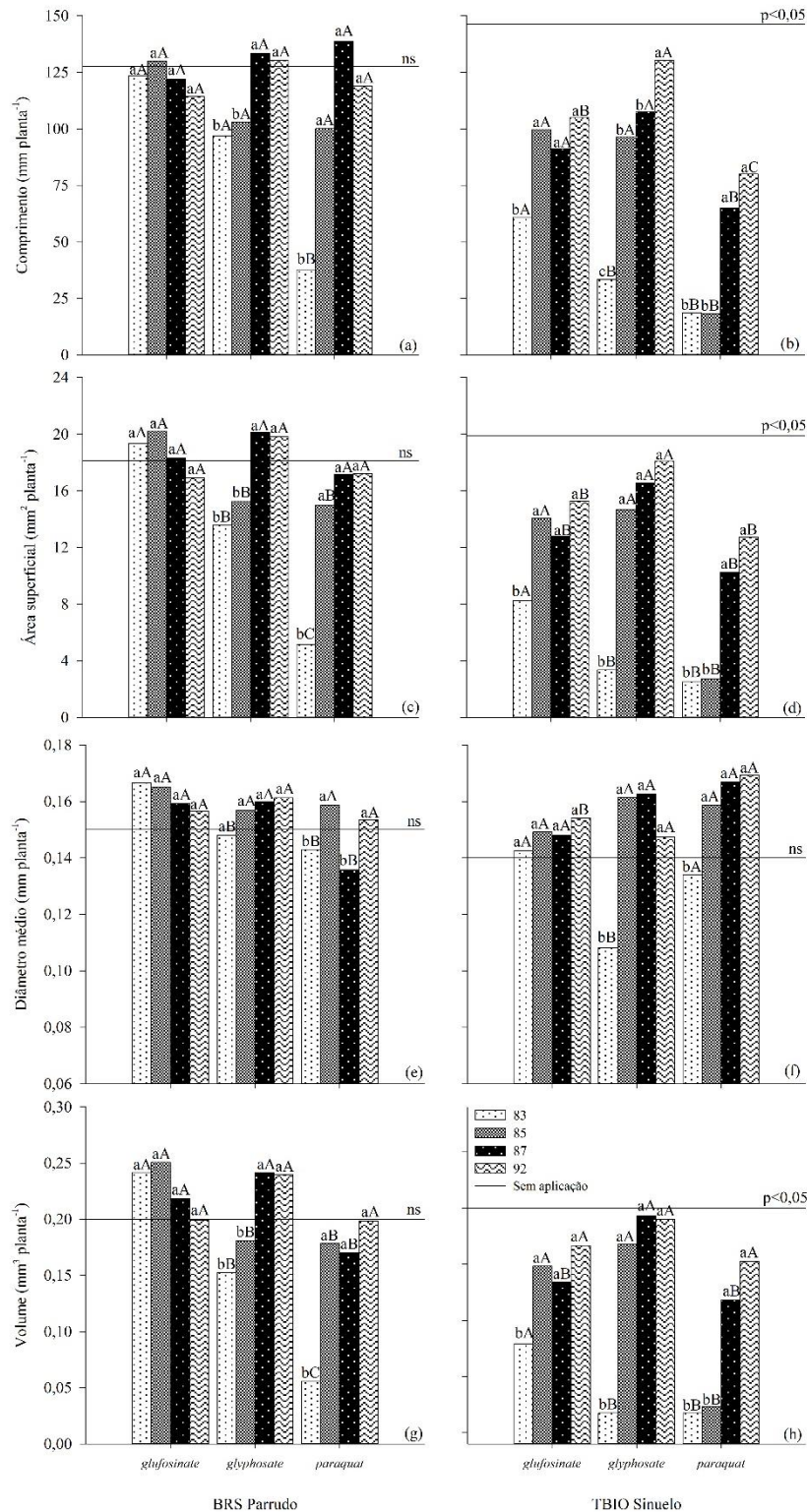


Figura 2. Morfologia de raízes: comprimento (a, b), área superficial (c, d), diâmetro médio (e, f) e volume (g, h) de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos (HER: *glufosinate*, *glyphosate* e *paraquat*) aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos (EF: Zadoks 83, 85, 87 e 92). Letras minúsculas (EF desdobrados em cada HER) e letras maiúsculas (HER desdobrados em cada EF) distintas diferem [Scott-Knott ($p < 0,05$)]. Resultados do contraste [Scheffé ($p < 0,05$)] entre os tratamentos com e sem a aplicação de herbicidas (p -valor e ^{ns}).

Conteúdo de peróxido de hidrogênio nas raízes

A concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foi acrescida naqueles tratamentos que receberam a aplicação de herbicidas (Figura 3). Foi observado um aumento da concentração de $0,06 \mu\text{mol g}^{-1}$ matéria fresca na cultivar TBIO Sinuelo. Na cultivar BRS Parrudo, o acréscimo de 1,5 vezes não diferiu estatisticamente, porém, o p-valor para essa fonte de variação foi de 0,08. Dentre os herbicidas, *paraquat* proporciona 86 (BRS Parrudo) e 31% (TBIO Sinuelo) de concentração a mais em relação aos outros dois ingredientes ativos testados.

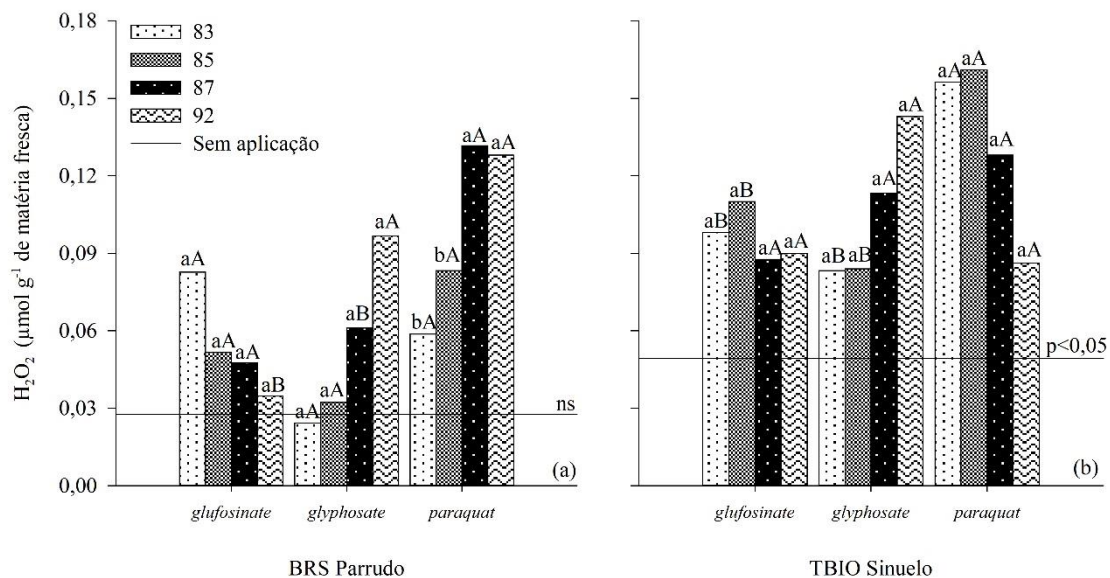


Figura 3. Conteúdo de peróxido de hidrogênio na parte aérea de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos (HER: *glufosinate*, *glyphosate* e *paraquat*) aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos (EF: Zadoks 83, 85, 87 e 92). Letras minúsculas (EF desdobrados em cada HER) e letras maiúsculas (HER desdobrados em cada EF) distintas diferem [Scott-Knott ($p < 0,05$)]. Resultados do contraste [Scheffé ($p < 0,05$)] entre os tratamentos com e sem a aplicação de herbicidas (p-valor e ns).

Atividade da enzima superóxido dismutase

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) não foi influenciada pelos tratamentos com herbicidas (Figura 4). Na parte aérea das plântulas, a atividade da enzima foi incrementada principalmente com o uso dos herbicidas *glyphosate* (2 e 43%) e *paraquat* (24 e 35%) em relação ao terceiro herbicida testado, para as cultivares BRS Parrudo e TBIO Sinuelo, respectivamente. Nas raízes de plântulas o incremento da atividade pela utilização dos dois herbicidas mencionados anteriormente foi de 71 e 76% para o *glyphosate* e *paraquat*, respectivamente, para a cultivar TBIO Sinuelo. Nas raízes de plântulas da cultivar BRS Parrudo não houve influência independentemente o herbicida e estádio fenológico de aplicação.

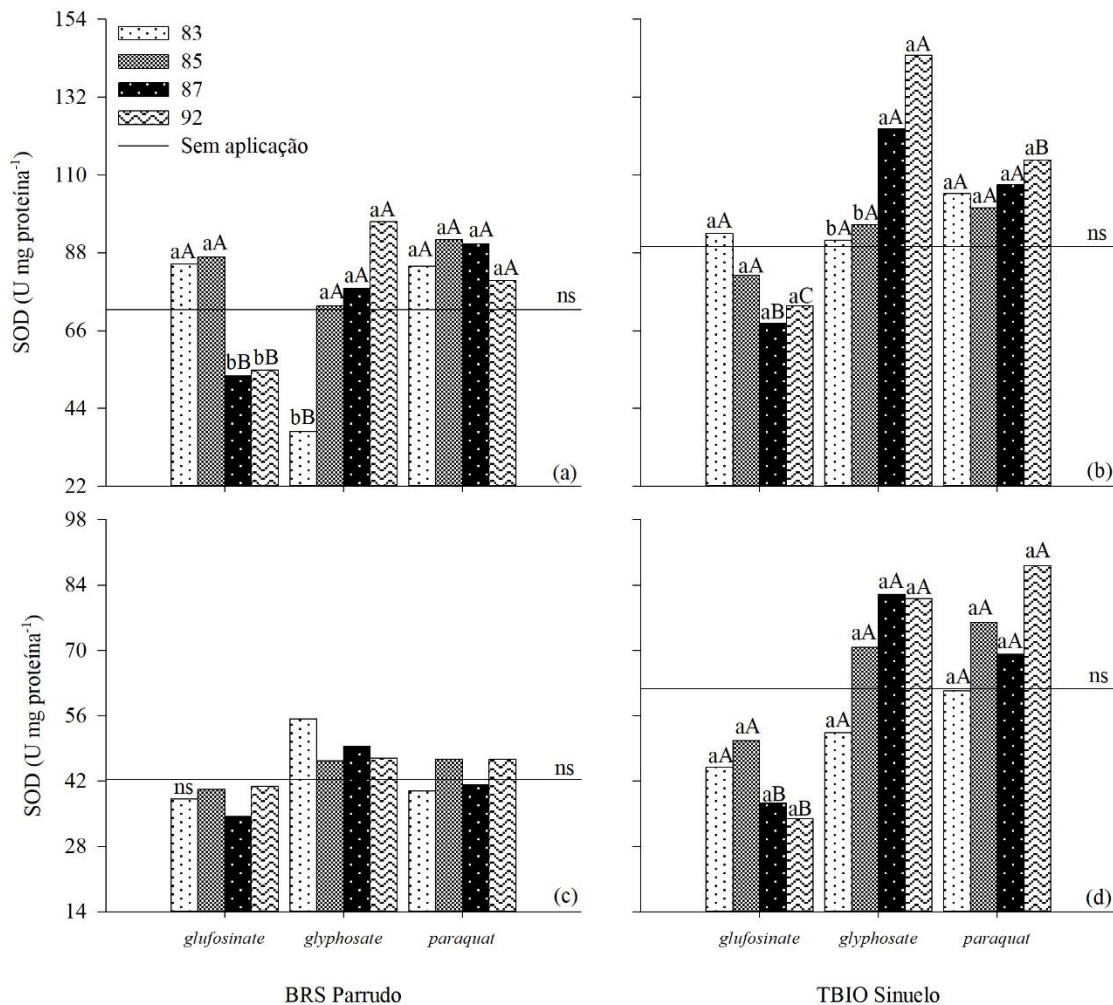


Figura 4. Atividade da enzima superóxido dismutase na parte aérea (a, b) e raízes (c, d) de plântulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplicação de herbicidas não-seletivos (HER: *glufosinate*, *glyphosate* e *paraquat*) aplicados na pré-colheita em diferentes estádios fenológicos (EF: Zadoks 83, 85, 87 e 92). Letras minúsculas (EF desdobrados em cada HER) e letras maiúsculas (HER desdobrados em cada EF) distintas diferem [Scott-Knott ($p < 0,05$)]. Resultados do contraste [Scheffé ($p < 0,05$)] entre os tratamentos com e sem a aplicação de herbicidas (p-valor e ^{ns}).

Atividade da enzima guaiacol peroxidase

A atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) foi influenciada pelos tratamentos com herbicidas (Figura 5). Na parte aérea de plântulas onde não houve aplicação de herbicidas, a atividade enzimática foi 34 e 43% menor para a cultivar BRS Parrudo e TBIO Sinuelo, respectivamente. O herbicida *glyphosate* incrementa a atividade em 45 e 43% para ambas cultivares. O herbicida *glufosinate-ammonium* incrementou em 57% na primeira cultivar e o herbicida *paraquat* 57% na segunda cultivar. Nas raízes de plântulas da cultivar BRS Parrudo, o tratamento sem aplicação de herbicidas apresentou atividade enzimática 40% menor. Valores

de 174 e 247 unidades de enzima $\text{mg prote\u00edna}^{-1}$ foram os acr\u00e9scimos m\u00e9dios nos tratamentos com *glyphosate* e *paraquat*, respectivamente. J\u00e1 na cultivar TBIO Sinuelo, n\u00e3o houve influ\u00eancia pela aplica\u00e7\u00e3o de herbicidas.

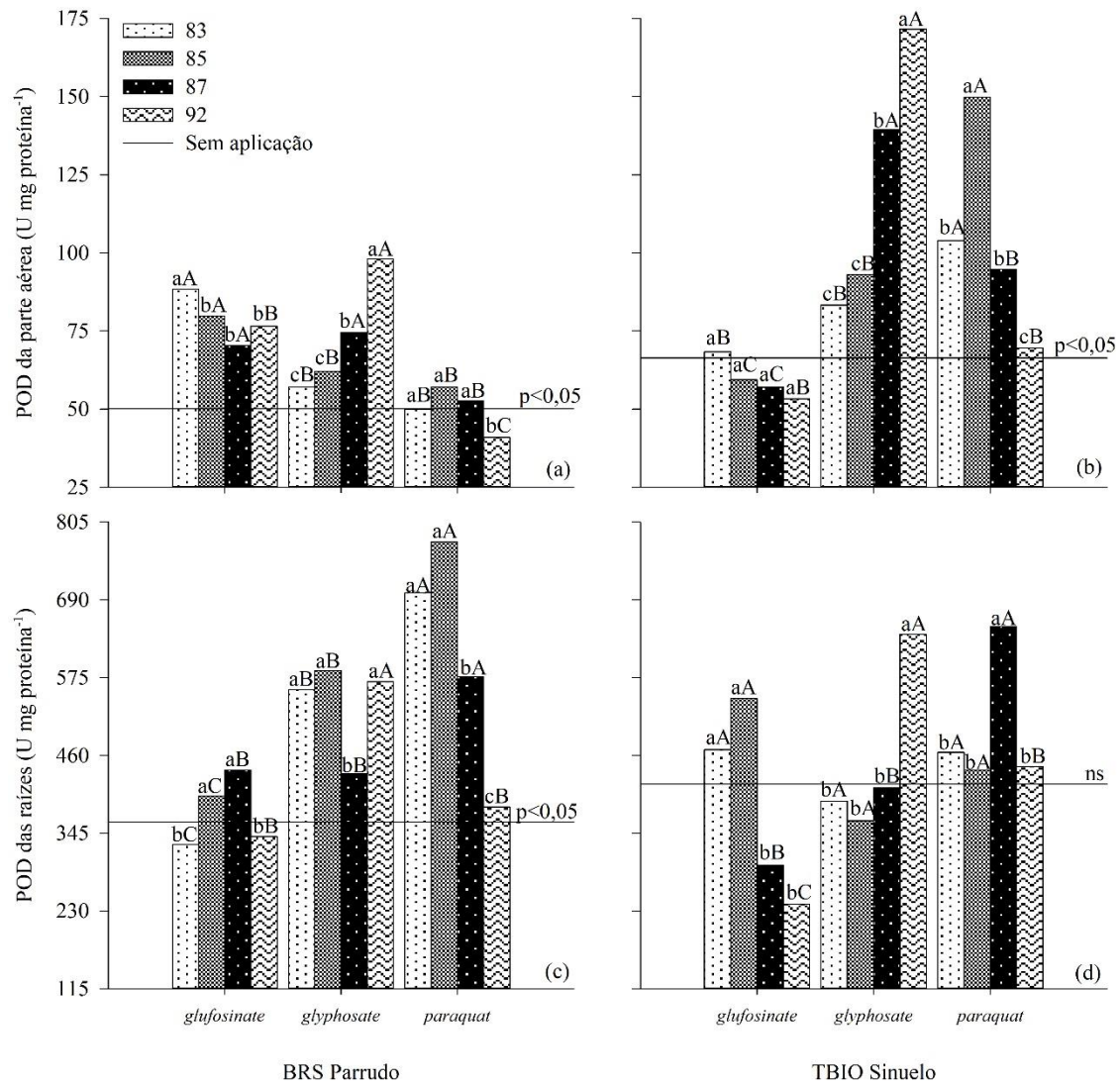


Figura 5. Atividade da enzima guaiacol peroxidase na parte \u00e1rea (a, b) e ra\u00edzes (c, d) de pl\u00e2ntulas de trigo oriundas de plantas que receberam a aplica\u00e7\u00e3o de herbicidas n\u00e3o-seletivos (HER: *glufosinate*, *glyphosate* e *paraquat*) aplicados na pr\u00e9-colheita em diferentes est\u00e1dios fenol\u00f3gicos (EF: Zadoks 83, 85, 87 e 92). Letras min\u00fasculas (EF desdobrados em cada HER) e letras mai\u00fasculas (HER desdobrados em cada EF) distintas diferem [Scott-Knott ($p < 0,05$)]. Resultados do contraste [Scheff\u00e9 ($p < 0,05$)] entre os tratamentos com e sem a aplica\u00e7\u00e3o de herbicidas (p-valor e ^{ns}).

DISCUSS\u00d5ES

A desseca\u00e7\u00e3o na pr\u00e9-colheita pode interferir na germina\u00e7\u00e3o e consequente obten\u00e7\u00e3o de pl\u00e2ntulas normais de trigo. Em condi\u00e7\u00f5es controladas foi evidenciada uma redu\u00e7\u00e3o m\u00e9dia de 8

a 26% conforme a cultivar utilizada. Contudo, dependendo do estágio fenológico de aplicação e o ingrediente ativo utilizado, as sementes podem ser totalmente inviabilizadas, apresentando apenas 24,5% de germinação (FIPKE et al., 2018). Para que seja possível compreender melhor os motivos desta redução, é importante avaliar a integridade da semente. Alguns aspectos morfológicos e fisiológicos como a quantidade e o modo de remobilização das reservas acumuladas nas sementes são avaliados nas plântulas (SOLTANI; GHOLIPOOR; ZEINALI, 2006).

A redução no comprimento e na área projetada da parte aérea evidenciada na presente pesquisa pode estar relacionada com a quantidade de reservas acumuladas nas sementes. Resultados prévios mostraram que a massa de sementes foi afetada negativamente naqueles tratamentos que receberam a aplicação de herbicidas (dados não apresentados). Plantas de trigo originadas de sementes maiores apresentaram maior taxa de emissão de folhas e atributos morfológicos referentes ao afilamento (BREDEMEIER; MUNDSTOCK; BÜTTENBENDER, 2001). Aos quatro dias após a germinação a parte aérea foi representada basicamente pelo coleóptilo, que em condições de germinação em solo tem função de proteção à primeira folha do trigo. O atraso na emissão da primeira folha pode estar relacionado com nossa pesquisa, pois é mais um indicativo de que as plântulas provindas dos tratamentos com herbicidas apresentavam problemas de formação (em média 12,9 mm a menos no comprimento de parte aérea). Corroborando com o exposto, o comprimento da parte aérea de plântulas de trigo com oito dias de germinadas foi reduzido em 47.9 mm no tratamento com herbicida *paraquat* (BELLÉ et al., 2014). Ainda, a dessecação na pré-colheita de soja com o herbicida *glufosinate-ammonium* influenciou negativamente a germinação e o crescimento de plântulas, devido à baixa mobilização de proteína solúvel e açúcar solúvel (DELGADO; COELHO; BUBA, 2015).

A arquitetura da planta de trigo tem sido modificada pelos programas de melhoramento genético em função de maximizar a obtenção de recursos, priorizando raízes mais longas e finas e menor relação parte aérea:raiz (CHAPAGAIN; SUPER; RISEMAN, 2014). Um incremento no comprimento e área de superfície, pode servir para indicar genótipos com maior capacidade de exploração do solo, com isso, sendo mais eficientes em absorção de água e nutrientes (BATISTA et al., 2016). Os atributos morfológicos de raízes de plantas foram reduzidos em nosso experimento naqueles tratamentos com herbicidas, principalmente na cultivar TBIO Sinuelo. Fica evidente que os herbicidas utilizados na pré-colheita estavam presentes nas sementes, pois, ao gerarem novas plântulas a região meristemática foi afetada pelos resíduos. Utilizando-se 2 kg ha⁻¹ de *glyphosate*, Jaskulski e Jaskulska (2014) constataram redução no

comprimento de raízes de 25.7 mm em relação ao tratamento sem aplicação. O ácido chiquímico é um precursor de vários compostos aromáticos essenciais as plantas, consequentemente, plantas intoxicadas pelo *glyphosate* tem alta concentração desse subproduto devido o bloqueio de sua rota (BRESNAHAN et al., 2003). Visando identificar os locais da planta onde há acumulação deste composto devido seu caráter sistêmico, estes mesmos autores apontaram que aos sete dias após a aplicação (368 ppm) o sistema radicular é o órgão mais afetado.

Devido a comprovação da interferência nos parâmetros morfológicos de plântulas, foram avaliados parâmetros bioquímicos e fisiológicos. Os níveis de ROS e a atividade de enzimas antioxidantes estão diretamente ligados a processos de sinalização e defesa contra o estresse, incluindo respostas ao déficit hídrico, salinidade, temperaturas extremas, metais pesados, ataque de patógenos, dentre outros (BARBOSA et al., 2014). Nesse sentido, devido a maturação forçada pela dessecação química com herbicidas na presente pesquisa, estas sementes originaram plântulas com alta concentração de H_2O_2 na parte aérea. As principais organelas responsáveis pela geração deste composto nas folhas, em ordem de importância são peroxissomos, cloroplastos e mitocôndrias (BHATTACHARJEE, 2010). Dentre os processos que estão relacionados a formação de H_2O_2 está a cadeia transportadora de elétrons localizada nos fotossistemas. O herbicida *paraquat* tem como mecanismo de ação a inibição do fotossistema I. A molécula funciona como acceptor de elétrons em um sítio próximo a ferredoxina, com isso, há perda de substâncias reduzidas e consequente desequilíbrio bioquímico por parte da planta (OLIVEIRA Jr, 2011). Com a utilização deste herbicida foram observadas as maiores concentrações de H_2O_2 .

O H_2O_2 também pode ser gerado pela dismutação do radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$) pela enzima SOD, responsável por modular os níveis desta ROS nas mitocôndrias, cloroplastos e citosol (MITTLER, 2002). A regulação na atividade da enzima SOD representa o combate ao estresse oxidativo causado por estresse biótico e abiótico e tem papel crítico na sobrevivência de plantas sob estresse ambiental (GILL; TUTEJA, 2010). A presença de resíduos de herbicida poderia atuar como agente causador de estresse em plântulas. Foi constatada elevada atividade desta enzima na parte aérea de plântulas, inclusive no tratamento onde não houve aplicação de herbicidas. Era esperado um efeito diretamente proporcional aos níveis de H_2O_2 , porém, pode-se inferir que esse subproduto esteve ligado a outras fontes. A fotorrespiração, por exemplo, é uma das rotas metabólicas que originam maior conteúdo de H_2O_2 em células fotossintéticas (BARBOSA et al., 2014). Ainda, a regulação nos níveis de H_2O_2 pode relacionar-se a processos

fisiológicos de plantas, como por exemplo, a senescência, fotorrespiração, fotossíntese, movimento estomático, crescimento e desenvolvimento (GILL; TUTEJA, 2010).

As enzimas peroxidases atuam na desintoxicação pelo excesso de H_2O_2 na planta, localizando-se principalmente na parede celular e no vacúolo. Sua atividade também pode servir como indicativo de estresse biótico e abiótico, identificação precoce de processos morfogênicos durante a diferenciação celular, crescimento e multiplicação de plantas, dentre outros (BARBOSA et al., 2014). Na presente pesquisa foi constatado alta atividade da enzima POD em todos os tratamentos com herbicidas, sendo que, nas raízes há maior atividade em relação a parte aérea. Há uma relação entre os níveis de H_2O_2 na parte aérea de plântulas e a atividade da enzima, pois pode-se inferir que a enzima não apresentou eficiência para dismutar todo o H_2O_2 produzido. Se observados o comportamento das enzimas SOD e POD, pode-se atestar que há uma relação com os dados obtidos na parte aérea de plântulas.

Morfologicamente e fisiologicamente foi constatado que a prática de dessecação na pré-colheita fica limitada a produção de grãos, condicionada à questão de resíduos de herbicidas e saúde humana. Processos fisiológicos ligados ao estresse pela presença de ROS e possivelmente o suprimento de reservas nas sementes foram afetados.

CONCLUSÕES

A morfologia da parte aérea e do sistema radicular são afetados negativamente com aumento da atividade enzimática e conteúdo de peróxido de hidrogênio em plântulas providas de sementes das plantas dessecadas na pré-colheita.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade e pesquisa.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. DE A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.453–460, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000300011>

BATISTA, R. O.; FURTINI NETO, A. E.; DECCETTI, S. F. C.; VIANA, C. S. Root morphology and nutrient uptake kinetics by australian cedar clones. **Revista Caatinga**, v.29, n.1, p.153–162, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n118rc>

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.44, n.1, p.276–287, 1971. [http://dx.doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](http://dx.doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8)

BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; BASSO, C. J.; EDU KASPARY, T.; LAMEGO, F. P.; PINTO, M. A. B. Yield and quality of wheat seeds as a function of desiccation stages and herbicides. **Journal of Seed Science**, v.36, n.1, p.63–70, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372014000100008>

BHATTACHARJEE, S. Sites of Generation and Physicochemical Basis of Formation of Reactive Oxygen Species in Plant Cell. In: GUPTA, S. D. (Ed.). **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plantas**. Enfield/NH: Science Publishers, 2010. p. 1–30.

BRASIL. Ministério da agricultura pecuária e abastecimento. **Regras para análise de sementes**. MAPA/ACS. 399p. 2009. Disponível em http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acessado dia 16/07/2018.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; BÜTTENBENDER, D. Efeito do tamanho das sementes de trigo no desenvolvimento inicial das plantas e no rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.8, p.1061–1068, 2001. Disponível em <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/6230/3295>. Acessado dia 16/07/2018.

BRESNAHAN, G. A.; MANTHEY, F. A.; HOWATT, K. A.; CHAKRABORTY, M. Glyphosate Applied Preharvest Induces Shikimic Acid Accumulation in Hard Red Spring Wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n.14, p.4004–4007, 2003. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0301753>

CHAPAGAIN, T.; SUPER, L.; RISEMAN, A. Root architecture variation in wheat and barley cultivars. **American Journal of Experimental Agriculture**, v.4, n.7, p.849–856, 2014. <http://dx.doi.org/10.9734/ajea/2014/9462>

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, n.3, p.271–276, 2013. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>

DEL-BUONO, D.; IOLI, G.; NASINI, L.; PROIETTI, P. A comparative study on the interference of two herbicides in wheat and italian ryegrass and on their antioxidant activities and detoxification rates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.22, p.12109–12115, 2011. <http://dx.doi.org/10.1021/jf2026555>

DELGADO, C. M. L.; COELHO, C. M. M. DE; BUBA, G. P. Mobilization of reserves and vigor of soybean seeds under desiccation with glufosinate ammonium. **Journal of Seed Science**, v.37, n.2, p.154–161, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v37n2148445>

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Informações técnicas para trigo e triticale**. 240p. 2017. Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155787/1/Informacoes-Tecnicas-para-Trigo-e-Triticale-Safra-2017-OL.pdf> . Acessado dia 16/07/2018.

FIPKE, G. M.; MARTIN, T. N.; NUNES, U. R.; DEAK, E. A.; STECCA, J. D. L.; WINCK, J. E. M.; GRANDO, L. F. T.; ROSSATO, A. C. Application of non-selective herbicides in the pre-harvest of wheat damages seed quality. **American Journal of Plant Sciences**, v.9, n.1, p.107–123, 2018. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2018.91010>

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v.59, n.2, p.309–314, 1977. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.59.2.309>

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, n.12, p.909–930, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>

JASKULSKI, D.; JASKULSKA, I. The effect of pre-harvest glyphosate application on grain quality and volunteer winter wheat. **Romanian Agricultural Research**, v.31, n.1, p.283–289, 2014. Disponível em <http://www.incda-fundulea.ro/rar/nr31/rar31.34.pdf> . Acessado dia 16/07/2018.

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PEREIRA, V. G. C.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P. Yield and physiological quality of wheat seeds after desiccation with different herbicides. **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.254–261, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v39n3172506>

LORETO, F.; VELIKOVA, V. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. **Plant Physiology**, v.127, n.4, p.1781–1787, 2001. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.010497>

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v.7, n.9, p.405–410, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)

OLIVEIRA JR, R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R. S. DE; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba/PR: Omnipax, 2011. p.141–192. Disponível em <http://omnipax.com.br/livros/2011/BMPD/BMPD-livro.pdf> . Acessado dia 16/07/2018.

SOLTANI, A.; GHOLIPOOR, M.; ZEINALI, E. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v.55, n.1–2, p.195–200, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.10.012>

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v.14, n.6, p.415–421, 1974. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

ZERAIK, A. E.; SOUZA, F. S. DE; FATIBELLO-FILHO, O.; LEITE, O. D. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de

purificação. **Química Nova**, v.31, n.4, p.731–734, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000400003>.

6 DISCUSSÕES

A utilização de herbicidas sistêmicos tem risco potencial de contaminação, pois conforme o estágio de desenvolvimento da planta em que for aplicado, sua molécula poderá ser acumulada nas reservas dos grãos/sementes. Já herbicidas de ação tóxica (de contato) apresentam risco quanto ao período de carência e contaminação direta do produto. Apesar das advertências, a aplicação de herbicidas na pré-colheita tem sido utilizada como ferramenta de antecipação de colheita. A dessecação na pré-colheita da cultura do trigo, é tema polêmico e que divide opinião entre técnicos, produtores e consumidores no Brasil e no mundo. Esta prática de manejo necessita de maiores esclarecimentos técnicos quanto a escolha de produtos, tecnologia e momento de aplicação, análise econômica, dentre outros. Este trabalho de tese objetivou sanar alguns destes questionamentos, principalmente do ponto de vista de produção de sementes.

Embasado nos resultados obtidos no experimento 1, foram proporcionadas condições de colheita antecipada pela dessecação de até 12 dias. Em média, para 2016 (5,4, 4 e 6,6) e em 2017 (4,3, 2,2 e 4,1) dias de antecipação para os herbicidas *glufosinate-ammonium*, *glyphosate* e *paraquat*, respectivamente. Essa comparação é relativa a uma condição normal de cultivo, onde não há a maturação forçada pelos herbicidas. Porém, essa antecipação está atrelada a redução nos componentes de produção. Houve decréscimo na produtividade de sementes ($85,2 \text{ kg dia}^{-1}$) e reduziu a massa de mil sementes ($0,36 \text{ g dia}^{-1}$) para cultivar TBIO Sinuelo na safra de 2016 (Figura 1). Essa redução se traduziu em ausência de viabilidade econômica em praticamente todas as situações. Dependendo do estágio fenológico de aplicação e do ingrediente ativo utilizado, o déficit econômico foi de até R\$ 2512 ha^{-1} (*glufosinate-ammonium* no estágio Zadoks 83). Portanto, o benefício de antecipar a colheita em poucos dias não se justifica, pois em termos práticos, a antecipação média em dias não é suficiente para o cenário de produção do sul do Brasil.

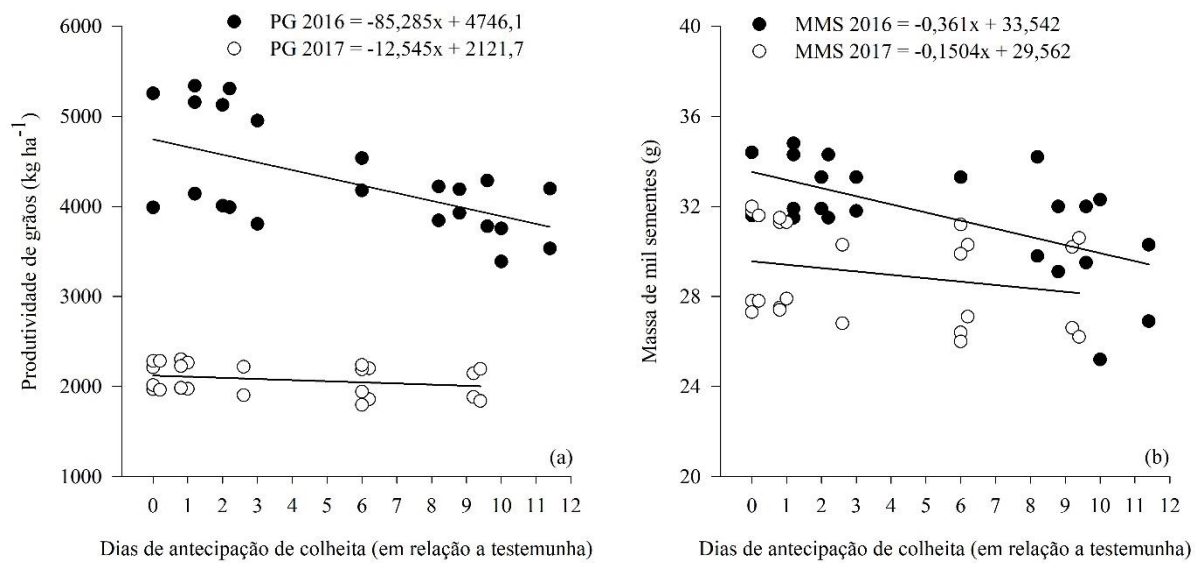


Figura 1. Equação linear representativa dos dias de antecipação de colheita (em relação a testemunha) proporcionados pela dessecação na pré-colheita do trigo e a interferência na produtividade de grãos e massa de mil sementes. Santa Maria, RS, Brasil.

Embasado nos resultados apresentados no experimento 2, as sementes obtidas sob as condições anteriormente citadas (experimento 1) apresentaram redução na qualidade fisiológica (Figura 2). O vigor das sementes foi reduzido quando expresso pela primeira contagem do teste de germinação (43%), teste de frio (25%) e de envelhecimento acelerado (47%). A germinação foi reduzida em índices não aceitáveis (mínimo 80%) conforme a legislação nacional de produção de sementes (26%). Limites inferiores de 81, 62, 66 e 82%, respectivamente para as mesmas variáveis citadas acima, foram obtidos com a aplicação de *paraquat* no estágio Zadoks 83 na cultivar TBIO Sinuelo. Já a qualidade sanitária não foi influenciada, havendo alta incidência de patógenos em todos os tratamentos. Portanto, a dessecação pré-colheita não deve ser realizada antes do estágio Zadoks 92, pois é prejudicial no caso de produção de sementes.

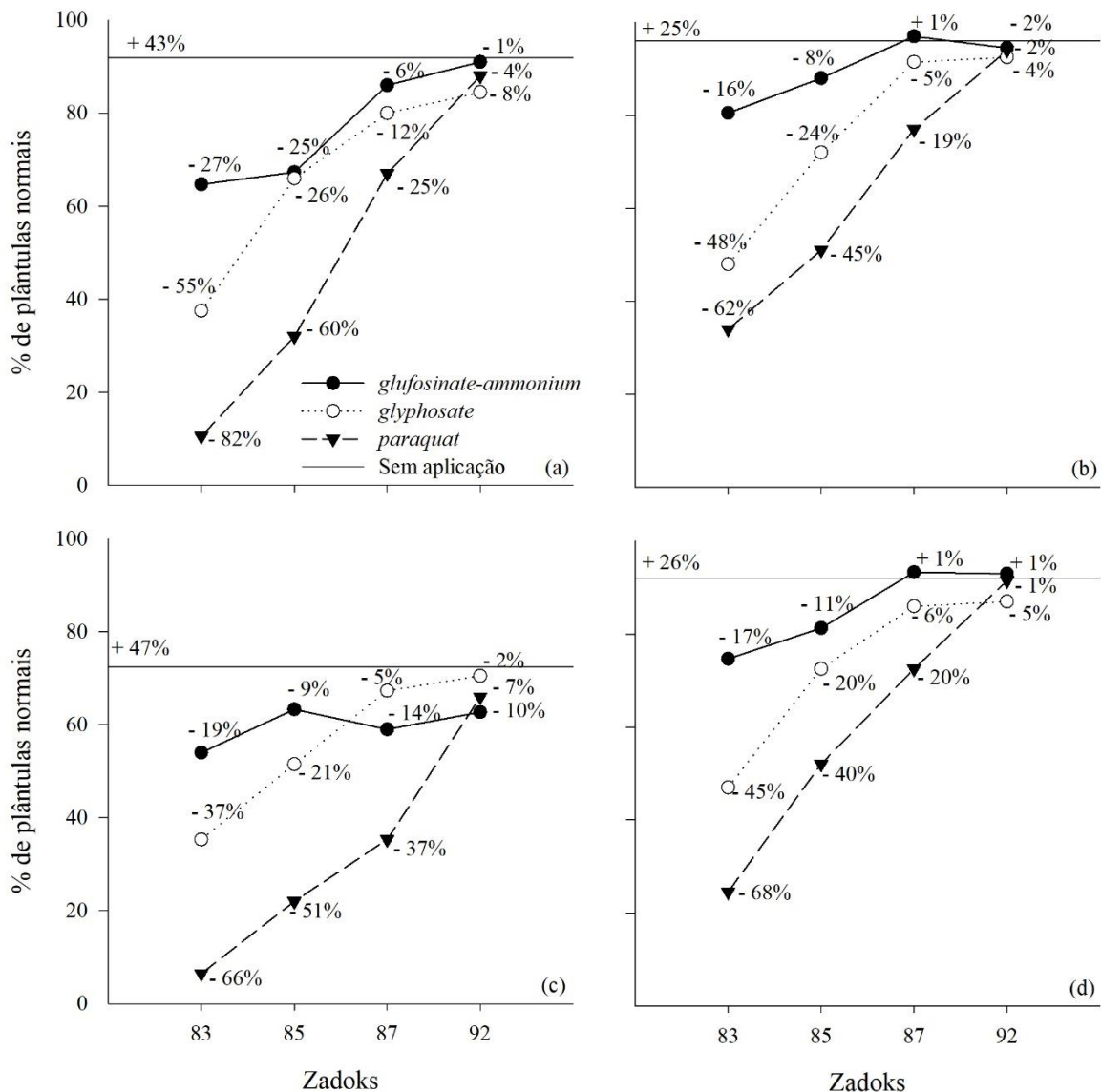


Figura 2. Vigor de sementes expressa pela primeira contagem do teste de germinação (a), teste de frio (b) e envelhecimento acelerado (c) e a germinação (d) de sementes de trigo oriundas de plantas de trigo que foram dessecadas na pré-colheita. Santa Maria, RS, Brasil.

Embasado nos resultados apresentados no experimento 3, as sementes obtidas sob as condições anteriormente citadas (experimento 1) originaram plântulas com parâmetros morfológicos reduzidos. Tanto os atributos relacionados a parte aérea (52% no comprimento e 46% na área projetada) quanto a raízes (93% no comprimento, 81% na área superficial e 70% no volume) foram reduzidos (Figura 3). Houve acréscimo no conteúdo de peróxido de hidrogênio (126%). No complexo enzimático antioxidante, a superóxido dismutase não foi influenciada e a guaiacol peroxidase teve sua atividade aumentada nos tratamentos com herbicidas (43%). Portanto, a dessecação pré-colheita interfere negativamente na obtenção de plântulas pois parâmetros morfológicos importantes para o correto estabelecimento de plantas

são afetados, assim como, a fisiologia celular, quando comparado àqueles tratamentos sem o uso de herbicidas.

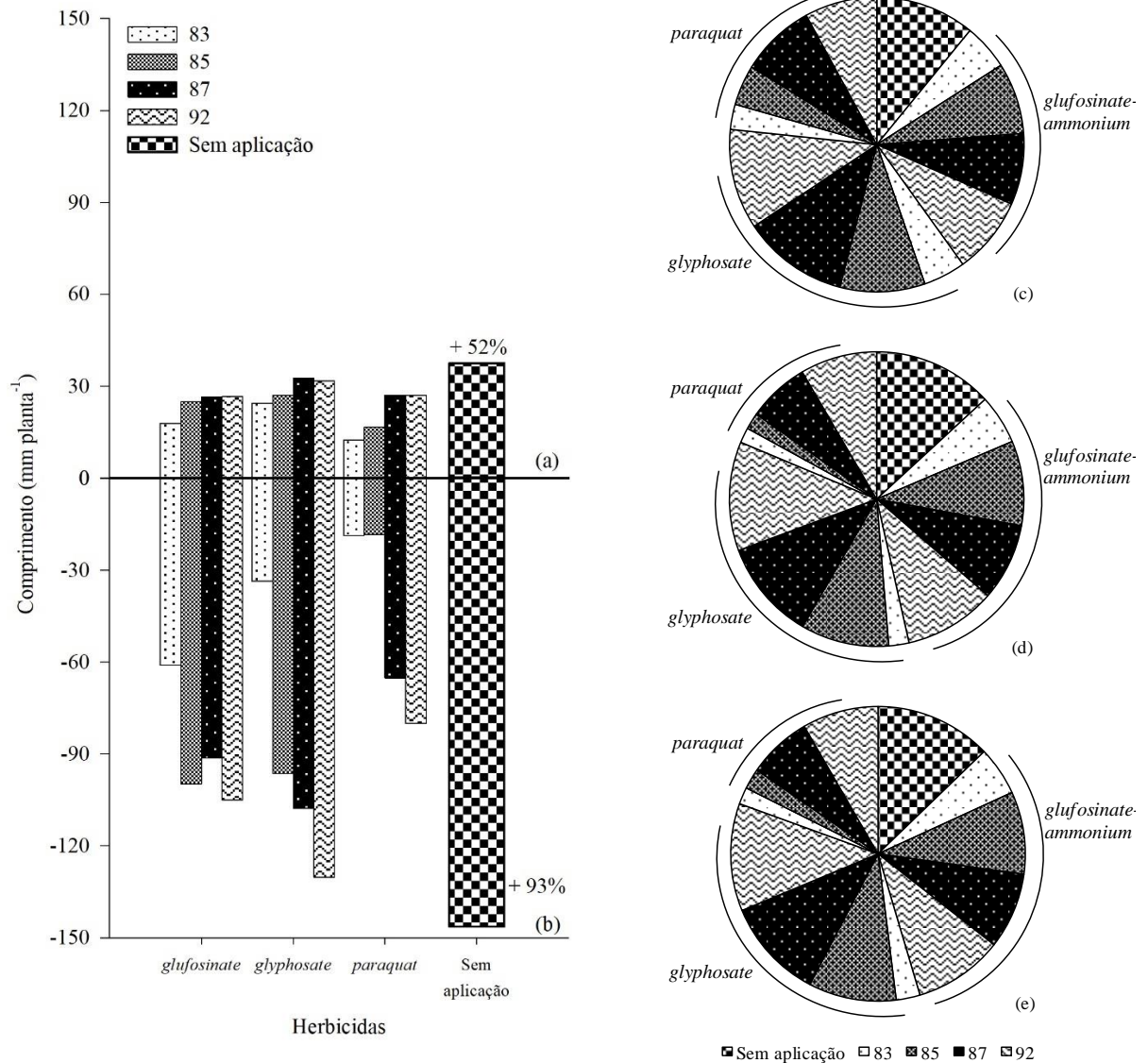


Figura 3. Morfologia expressa pelo comprimento da parte aérea (a) e raízes (b), área projetada da parte aérea (c), área superficial de raízes (d) área total de plântulas de trigo providas de sementes das plantas dessecadas na pré-colheita. Santa Maria, RS, Brasil.

Os herbicidas testados apresentaram comportamento distinto quanto sua aplicabilidade de uso na pré-colheita. O herbicida *glyphosate* (1440 g i.a. ha⁻¹) mostrou-se pouco efetivo na antecipação de colheita, em algumas ocasiões não houve antecipação em relação a testemunha. Apesar de ter o menor custo de aquisição entre os testados, não há viabilidade econômica. O herbicida *paraquat* (400 g i.a. ha⁻¹), promove a maior fitointoxicação da cultura, proporcionando condições de colheita mais rapidamente em comparação aos demais testados.

Contudo, não deve ser utilizado para produção de sementes pois apresentou redução da produção e qualidade de sementes. O herbicida *glufosinate-ammonium* (350 g i.a. ha⁻¹) é o ingrediente ativo contido no único produto registrado para ser utilizado para este fim segundo a legislação brasileira. Mesmo utilizando-se esse produto, também houve redução na produção e qualidade de sementes principalmente quando aplicado antes da maturação fisiológica. Portanto a recomendação é de que não sejam utilizados nenhum tipo de herbicidas quando a produção for dedicada a sementes.

Quanto aos estádios fenológicos de aplicação testados, fica evidente os danos causados em aplicações mais antecipadas (Zadoks 83, 85 e 87). Para a maioria das variáveis analisadas, o estágio fenológico de aplicação é determinante para o rendimento das variáveis, sendo mais importante do que o ingrediente ativo utilizado. O estágio fenológico Zadoks 92 representa a maturidade fisiológica do trigo e a partir desse momento, o ponto de colheita irá depender tão somente da perda do conteúdo de água das sementes. Assim, esse estágio fenológico representa o momento mais propício, pois não há redução em quantidade e qualidade de sementes. Entretanto, as análises fisiológicas apontaram que mesmo em pequena expressão, ocorrem distúrbios quanto ao conteúdo de peróxido de hidrogênio e a atividade do sistema enzimático antioxidante.

A colheita antecipada pela dessecação possibilita a redução do tempo de exposição a intempéries climáticas; a melhor distribuição do tempo no planejamento estratégico de maquinário e mão-de-obra; a obtenção de grãos e sementes em períodos onde os insumos estão mais valorizados devido a oferta-demanda; aumento da eficiência da colheita mecanizada pela uniformização da maturação do dossel de plantas e; possibilita a semeadura da cultura sucessora nos períodos mais propícios para expressar o potencial produtivo. Porém, essa prática leva a redução na produtividade e massa de sementes, não havendo viabilidade econômica na comercialização de sementes. Ainda, a qualidade de sementes é afetada drasticamente visto que seu potencial fisiológico diminui em virtude da presença de distúrbios fisiológicos motivados pela alta concentração de peróxido de hidrogênio.

Devido à influência na germinação e morfofisiologia de plântulas pode-se inferir que o residual de agrotóxicos aderidos às sementes é o principal motivo dessa alteração. Quando se pensa na interação da arquitetura de plantas x tecnologia de aplicação, a espiga de trigo localiza-se no ápice da planta, sendo a parte mais exposta e de mais fácil interceptação de gotas de pulverização. A cariopse é envolta pelas glumas que podem servir de proteção, retendo uma pequena fração do produto pulverizado. Assim, é evidente o contato direto com as sementes,

minimizando-se a fração de resíduos apenas pelas vias de degradação dos agrotóxicos, indicado no período de carência na bula do produto.

Portanto, a dessecação de trigo na pré-colheita com benefício de antecipar a colheita em poucos dias não se justifica. Pesquisas futuras podem ser elaboradas em função de elucidar alguns aspectos relacionados a produção de grãos (níveis de resíduos de agrotóxicos, período de carência e qualidade tecnológica da farinha, dentre outros) e sementes (análise citogenética, morfologia e organização de estruturas de deposição de reservas e eixo embrionário, dentre outros).

7 CONCLUSÕES

A aplicação dos herbicidas não-seletivos *glufosinate-ammonium* (350 g i.a. ha⁻¹) e *paraquat* (400 g i.a. ha⁻¹) na pré-colheita promovem maior fitointoxicação do trigo, antecipando a colheita em 4,8 e 5,3 dias, respectivamente. Há redução na produtividade e massa de sementes, não havendo viabilidade econômica para ambas cultivares avaliadas.

As sementes oriundas de plantas que foram dessecadas na pré-colheita têm deterioração mais acentuada e sua qualidade fisiológica expressa pelo vigor e germinação é prejudicada. Não há influência sobre a sanidade de sementes.

A morfologia da parte aérea e do sistema radicular são afetados negativamente com aumento da atividade enzimática e conteúdo de peróxido de hidrogênio em plântulas provindas de sementes das plantas dessecadas na pré-colheita.

REFERÊNCIAS

ABITRIGO. Associação Brasileira de Indústria de Trigo. **Consumo mundial de trigo 2013-2018**. 2018. Online. Disponível em http://abitrito.com.br/associados/arquivos/06.cons_trigo_2018.pdf. Acessado dia 25/04/2018.

ABRASEM. Associação Brasileira de Sementes e Mudanças. **Estatística -Anuário 2015**. 2018. Online. Disponível em <http://www.abrasem.com.br/estatisticas/#>. Acessado dia 25/04/2018.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Consulta pública nº 57, de 1º de julho de 2015**. Diário Oficial, Brasília, de 17/07/2015. Online. Disponível em <http://portal.anvisa.gov.br/anvisa+portal/anvisa/inicio/agrotoxicos+e+toxicologia/publicacao+agrotoxico+toxicologia/referencias+bibliograficas>. Acessado dia 16/07/2018.

BELLÉ, C. et al. Yield and quality of wheat seeds as a function of desiccation stages and herbicides. **Journal of Seed Science**, v.36, n.1, p.63–70, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372014000100008>

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Sistema de Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. 2018. Online. Disponível em <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/SISZARC.html>. Acessado dia 16/07/2018.

CALVIÑO, P. A. et al. Use of non-selective herbicides for wheat physiological and harvest maturity acceleration. **Field Crops Research**, v.77, n.2–3, p.191–199, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00072-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00072-2)

CARVALHO, P. T.; BELEIA, A. D. P. Alterações físico-químicas e atividade enzimática de trigo com germinação pré-colheita. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, p.524-531, 2015. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150034>

CARVALHO, L.B.; **Herbicidas**, 1ª Ed. 62 p, Lages/SC, 2013.

CARVALHO, N. M. & NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. 5ª edição. FUNEP. Jaboticabal, SP. Brasil, 2012, 590p.

CONAB. Companhia Nacional do Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos**. 2018. Online. Disponível em https://www.conab.gov.br/index.php/component/k2/item/download/16780_e7a4a52ee1db76ad1a8cfda9b2343c48. Acessado em: 25/04/2018.

FIPKE, G. M.; MARTIN, T. N.; NUNES, U. R.; DEAK, E. A.; STECCA, J. D. L.; WINCK, J. E. M.; GRANDO, L. F. T.; ROSSATO, A. C. Application of non-selective herbicides in the pre-harvest of wheat damages seed quality. **American Journal of Plant Sciences**, v.9, n.1, p.107–123, 2018. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2018.91010>

GRIFFIN, J. L.; BOUDREAUX, J. M.; MILLER, D. K. Herbicides as harvest aids. **Weed Science**, v.58, n.3, p.355-358, 2010. <https://doi.org/10.1614/WS-09-108.1>

HENNING, F. A. et al. Qualidade sanitária de sementes de milho em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.2, p.316-321, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222011000200014>

JASKULSKI, D.; JASKULSKA, I. The effect of pre-harvest glyphosate application on grain quality and volunteer winter wheat. **Romanian Agricultural Research**, v.31, n.1, p.283-289, 2014. Disponível em <http://www.incda-fundulea.ro/rar/nr31/rar31.34.pdf> . Acessado dia 16/07/2018.

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PEREIRA, V. G. C.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P. Yield and physiological quality of wheat seeds after desiccation with different herbicides. **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.254–261, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v39n3172506>

LACERDA, A. L. S. et al. Efeitos da dessecação de plantas de soja no potencial fisiológico e sanitário das sementes. **Bragantia**, v.64, n.3, p.447-457, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000300015>

LIMA, M. A.; CORRÊA, I. M. **Entendendo os limites de resíduos de agrotóxicos em alimentos.** 2012. Online. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2012_2/entendendoalimentos/index.htm. Acessado dia 16/07/2018.

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

MENDONÇA, A. O.; TAVAREZ, L. C.; BRUNES, A. P.; MONZÓN, D. L. R.; VILLELA, F. A. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. **Bioscience Journal**, v.29, n.5, p.1154-1162, 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22432/13010>. Acessado em: 25/04/2018.

OLIVEIRA Jr., R. S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA Jr., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas.** Curitiba, PR: Omnipax, 2011. p. 141-192.

PEREIRA, T. et al. Dessecação química para antecipação de colheita em cultivares de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.4, p.2383-2394, 2015. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n4p2383>

PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. **Trigo no Brasil – Bases para a produção competitiva e sustentável.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. 488 p.

PRESTES, O. D. et al. QuEChERS – um método moderno de preparo de amostra para determinação multirresíduo de pesticidas em alimentos por métodos cromatográficos acoplados à espectrometria de massas. **Química Nova**, v.32, n.6, p.1620-1634, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000600046>

ROMAN, E. S. et al. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação.** Passo Fundo: Berthier, 2007. 158p.

SANTOS, P. R. R.; VICENTE, D. Momento fisiológico das plantas de trigo para a dessecação e seus efeitos no rendimento de grãos. **Cultivando o saber**, v.2, n.1, p.52–62, 2009. Disponível em https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/591a1fee7d5fb.pdf. Acessado dia 18/04/2018.

SHERWANI, S. I.; ARIF, I. A.; KHAN, H. A. Modes of Action of Different Classes of Herbicides. In: PRICE, A.; KELTON, J.; SARUNAITA, L. (Eds.). **Herbicides, Physiology of Action, and Safety**. InTech Open. p.165-186, 2015. Disponível em <http://www.intechopen.com/books/herbicides-physiology-of-action-and-safety/modes-of-action-of-different-classes-of-herbicides>. Acessado dia 18/04/2018.

SILVA, A. A., FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, Editora UFV. 2007. p. 83-148.

TABALDI, L. A. et al. Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.3, p.211-222, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000300005>

WELLER, S. **Diquat, paraquat, diphenylethers and oxadiazon uses and mechanism of action**. Herbicide action course. West Lafayette: Purdue University, 2003. P.185-224.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v.14, n.6, p.415–421, 1974. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>