

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA,
AGRICULTURA E AMBIENTE

Rodrigo Zeni

DERIVA SIMULADA DE HERBICIDAS EM TRIGO

Frederico Westphalen, RS
2021

Rodrigo Zeni

DERIVA SIMULADA DE HERBICIDAS EM TRIGO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Diecson Ruy Orsolin da Silva

Frederico Westphalen, RS
2021

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Zeni, Rodrigo

Deriva Simulada de Herbicidas em Trigo/ Rodrigo Zeni. - 2021.

65 p.; 30cm

Orientador: Diecson Ruy Orsolin da Silva

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente 2021.

1. Interação de subdoses de glyphosate e regulador de crescimento em trigo 2. Deriva simulada de imazamox em trigo suscetível I. Silva, Diecson Ruy Orsolin Da

© 2021

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

E-mail:rodrigozeni192@gmail.com

Rodrigo Zeni

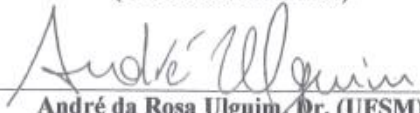
DERIVA SIMULADA DE HERBICIDAS EM TRIGO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

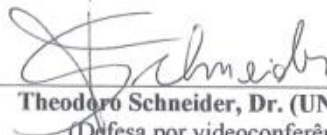
Aprovado em 25 de junho de 2021:



Diecson Ruy Orsolin da Silva, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



André da Rosa Ulguim, Dr. (UFSM)
(Defesa por videoconferência)



Theodoro Schneider, Dr. (UNICRUZ)
(Defesa por videoconferência)

Frederico Westphalen, RS
2021

DEDICATÓRIA

Dedico a Deus, pelo dom da vida, aos meus pais Moacir Zeni e Elenice Zeni, por serem meu espelho e inspiração, e aos professores do PPGAAA, dedico-lhes este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar, e proporcionar saúde e sabedoria.

Aos meus pais Moacir Zeni e Elenice Zeni, a minha irmã Daiane Zeni, por todo apoio e confiança. Pela compreensão nos momentos de ausência e pelos valiosos conselhos.

Em especial aos professores Diecson Ruy Orsolin da Silva pela oportunidade e confiança depositada. E aos demais professores do PPGAAA – da UFSM de FW. Obrigado pelos conselhos, ensinamentos e pela amizade.

Ao professor Dr Theodoro Schneider, da UNICRUZ, pela parceria e oportunidade de compartilhar parte do projeto de pesquisa.

A minha namorada Janaina Sauthier, por toda a ajuda e por entender os momentos de dificuldades.

À UFSM e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, pela possibilidade da realização desse trabalho.

Aos professores Diecson Ruy Orsolin da Silva, Theodoro Schneider, André da Rosa Ulguim e Claudir José Basso pela disponibilidade em participar da banca de defesa.

Aos eternos amigos do Laboratório de Plantas Daninhas, por toda ajuda na condução dos experimentos e pela amizade.

Aos colegas e amigos do PPGAAA, pela amizade e troca de experiências.

E a todas as pessoas que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste sonho.

RESUMO

DERIVA SIMULADA DE HERBICIDAS EM TRIGO

AUTOR: Rodrigo Zeni

ORIENTADOR: Diecson Ruy Orsolin da Silva

O trigo é um dos principais cereais de inverno cultivados na região Sul do Brasil. Diferentes herbicidas são utilizados no controle de plantas daninhas em áreas vizinhas com o cultivo do trigo, dentre esse o glyphosate e o imazamox. Além do uso de regulador de crescimento, que é utilizado para evitar acamamento da cultura, e expressar seu potencial produtivo. A partir disso, deriva ou contaminação de tanque podem ocasionar injúrias no trigo suscetível a estes herbicidas. Com isso, o objetivo geral da pesquisa é avaliar os impactos de subdoses de herbicidas não seletivos em interação com regulador de crescimento sobre a cultura do trigo. O objetivo do estudo I foi avaliar os efeitos de subdoses de glyphosate associados a aplicação de trinexapac-ethyl em duas cultivares de trigo. E o objetivo do estudo II foi avaliar a resposta do trigo à deriva simulada de imazamox em diferentes estágios fenológicos. A pesquisa foi conduzida a campo na safra 2019, em que foram realizados dois experimentos. No estudo I foi avaliada o efeito sobre parâmetros produtivos do uso de subdoses de glyphosate, associados ou não ao uso de regulador de crescimento TE, em dois cultivares de trigo. Os resultados demonstram o efeito da deriva simulada de glyphosate aumentou a fitotoxicidade e reduziu estatura, matéria seca e a produtividade da cultura do trigo. A fitotoxicidade foi mais significativa quando associada ao uso de trinexapac-ethyl para ambos os cultivares. O cultivar Audaz apresentou os maiores sintomas de fitotoxicidade. A estatura de plantas foi reduzida com o uso de trinexapac-ethyl em ambos os cultivares. Subdoses crescentes de glyphosate reduziram a estatura em ambas as épocas avaliadas. O cultivar ORS Citrino apresenta menor perda de matéria seca e produtividade em relação ao TBIO Audaz. Os cultivares de trigo apresentaram redução na produtividade com o uso de trinexapac-ethyl. A produtividade do cultivar Audaz foi mais afetada pelo incremento das subdoses de glyphosate, sendo reduzida em 17 e 59% para as subdoses de 36 e 72 g ha⁻¹, respectivamente. A produtividade do cultivar Citrino permaneceu inalterada até a subdose de 36 g ha⁻¹ de glyphosate, e com perda máxima estima de 34% na subdose de 72 g ha⁻¹. A fitotoxicidade foi mais significativa quando associada ao uso de trinexapac-ethyl, para ambos os cultivares. O cultivar Audaz apresentou os maiores sintomas de fitotoxicidade. No estudo II, o objetivo foi avaliar os efeitos da deriva de imazamox em dois estágios fenológicos do trigo não Clearfield. Observou-se que a fitotoxicidade causada pela deriva simulada de imazamox foi mais pronunciada no estágio de perfilhamento. A simulação de deriva por imazamox resulta em maiores sintomas de fitotoxicidade quando aplicado no estágio de perfilhamento, principalmente nas subdoses do herbicida acima de 8,9% da dose recomendada. Mais estudos se fazem necessários a fim de se saber qual é o real dano em outros cultivares e épocas de aplicação de subdoses de imazamox em cultivares suscetíveis.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, Clearfield, glyphosate, imazamox, trinexapac-ethyl, subdoses, produtividade.

ABSTRACT

SIMULATED DRIFT OF HERBICIDES ON WHEAT

AUTHOR: Rodrigo Zeni

ADVISOR: Diecson Ruy Orsolin da Silva

Wheat is one of the main winter cereals grown in southern Brazil. Different herbicides are used to control weeds in areas concomitant with wheat cultivation, including glyphosate and imazamox. In addition to the use of growth regulator, which is used to prevent crop lodging and express its productive potential. From this, drift or tank contamination can cause injuries to wheat, susceptible to these herbicides. Thus, the general objective of the research is to evaluate the impacts of underdoses of non-selective herbicides in interaction with growth regulators on the wheat crop. The objective of study I was to evaluate the effects of underdoses of glyphosate associated with the application of trinexapac-ethyl in two wheat cultivars. And the aim of study II was to evaluate the response of wheat to simulated imazamox drift at different phenological stages. The research was conducted in the field in the 2019 harvest, in which two experiments were carried out. In study I, the effect on physiological and productive parameters of the use of underdoses of glyphosate, associated or not with the use of TE growth regulator, in two wheat cultivars was evaluated. The results demonstrate the effect of simulated glyphosate drift increased phytotoxicity and reduced height, dry matter and yield of the wheat crop. The productivity of the Audaz cultivar was more affected by the increment of glyphosate subdoses, being reduced by 17 and 59% for the subdoses of 36 and 72 g ha⁻¹, respectively (Figure 3B). The yield of cultivar Citrino remained unchanged up to the sub-dose of 36 g ha⁻¹ of glyphosate, and with a maximum estimated loss of 34% in the sub-dose of 72 g ha⁻¹. Phytotoxicity was more significant when associated with the use of trinexapac-ethyl, for both cultivars. Cultivar Audaz showed the greatest symptoms of phytotoxicity. In study II, the effect of using subdoses of imazamox at two stages of application in non-Clearfield wheat, evaluated in two locations, was studied. It was observed that the phytotoxicity caused by the simulated drift of imazamox was more pronounced in the tillering stage. Drift simulation by imazamox results in greater symptoms of phytotoxicity when applied in the tillering stage, especially in herbicide subdoses above 8.9% of the recommended dose. More studies are needed in order to know what is the real damage in other cultivars and times of underdoses of imazamox in susceptible cultivars.

Key words: *Triticum aestivum*, Clearfield, glyphosate, imazamox, trinexapac-ethyl, subdoses, yield.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO I

- Figura 1: Efeito de subdoses de glyphosate na fitotoxicidade dos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino aos 14 DAA (A) e aos 28 DAA (B). Barras representam intervalo de confiança de 95%.29
- Figura 2: Efeito de subdoses de glyphosate associados ou não ao trinexapac-ethyl na estatura dos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino aos 14 DAA (A) e aos 28 DAA (B). Barras representam intervalo de confiança de 95%.....301
- Figura 3: Estatura pré-colheita sob efeito de subdoses de glyphosate nos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino (A) e efeito de subdoses de glyphosate associado com trinexapac -ethyl (B). Barras representam intervalo de confiança de 95%.312
- Figura 4: Matéria seca (A) e produtividade (B) dos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino em função da aplicação de trinexapac ethyl (TE) e subdoses de glyphosate. Barras representam intervalo de confiança de 95%.....333

ARTIGO II

- Figura 1: Fitotoxicidade aos 14 DAA (A e C) e 28 DAA (B e D) de subdoses de imazamox aplicados nos estágios de perfilhamento (GS 14 - 4ª folha desenrolada) e alongação do colmo (GS 32 - 2º nó detectável) em Cruz Alta (A e B) e Frederico Westphalen (C e D). barras verticais indicam intervalo de confiança a 95%.5555
- Figura 2: Produtividade (A e C) e número de espiga (B) em função de subdoses de imazamox aplicados nos estágios de perfilhamento (GS 14 - 4ª folha desenrolada) e alongação do colmo (GS 32 - 2º nó detectável) em Cruz Alta (A) e Frederico Westphalen (B e C). Barras verticais indicam intervalo de confiança a 95%.5656

LISTA DE TABELAS

ARTIGO II

Tabela 1: Características físico-químicas do solo em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA)	53
Tabela 2: Precipitação mensal (mm) e temperaturas médias (°C) durante a condução dos experimentos em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA) na safra 2019	54

ANEXOS

ARTIGO I

Tabela 1: Resumo da análise da variância e valores de F para as variáveis fitotoxicidade aos 14 e 28 DAA (F14 e F28), estatura 14 e 28 DAA (E14 e E28), matéria seca aos 28 DAA (MS28), estatura pré colheita (Epc), produtividade (P)	4065
--	------

ARTIGO II

Tabela 1: Características físico-químicas do solo em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA)	535
Tabela 2: Precipitação mensal (mm) e temperaturas médias (°C) durante a condução dos experimentos em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA) na safra 2019 ...	545

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.1 HIPÓTESES	14
1.2 OBJETIVO GERAL	14
1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. A CULTURA DO TRIGO	15
2.2. DERIVA/RESÍDUOS DE HERBICIDAS SOBRE CULTURAS NÃO ALVO.....	16
2.3. REGULADOR DE CRESCIMENTO - TRINEXAPAC-ETHYL.....	20
3. ARTIGO I –INTERAÇÃO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE E REGULADOR DE CRESCIMENTO EM TRIGO.....	23
3.1. RESUMO.....	23
3.2. INTRODUÇÃO	24
3.3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.5. CONCLUSÃO	346
3.6. REFERÊNCIAS	367
4. ARTIGO II – DERIVA SIMULADA DE IMAZAMOX EM TRIGO NÃO CLEARFIELD.....	412
4.1 RESUMO	412
4.2 INTRODUÇÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3
4.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	4546
4.5 CONCLUSÃO	4950
4.6 REFERÊNCIAS.....	50
5. DISCUSSÃO GERAL.....	5757
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	59
7. REFERÊNCIAS	600
8. ANEXOS	65

1 INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais mais cultivados e importantes do mundo, representando aproximadamente 30% da produção mundial de grãos. É uma cultura de grande importância para o Brasil e no sistema de produção agrícola da região Sul, utilizada na alimentação humana e animal.. Com uma produção anual de 6,2 milhões de toneladas em 2020, sendo que cerca de 36,3% da produção de trigo está concentrada no Rio Grande do Sul (CONAB, 2020).

Dentre os principais sistemas de cultivo praticados na Sul do Brasil, uma das melhores opções é a semeadura da cultura do trigo durante o inverno, por ser alternativa na sucessão com soja em sistema de semeadura direta e para reduzir os níveis de infestação de plantas daninhas, para a cultura subsequente, uma vez que, promove a cobertura do solo durante o período (OLIVEIRA NETO et al., 2013).

Portanto, nesse sistema de cultivo tem-se estimulado o uso de manejo intensivo com objetivo de maximar a produtividade do trigo. Esse manejo integra adoção de práticas como época de semeadura, espaçamento e densidade de sementes adequadas, aumento do nível de fertilidade do solo, cultivares com alto potencial de produtivo, controle de doenças, pragas, plantas daninhas e de acamamento das plantas (MARTINS, 2012).

Desta forma, as elevadas perdas na produtividade do trigo causada pela competição com as plantas daninhas ocasiona acréscimo nos custos de produção, como a utilização de herbicidas (LAMEGO et al., 2013). Assim para garantir produtividade satisfatória é importante conhecimento de herbicidas que possam ser utilizados de forma segura.

Dentre os herbicidas utilizados no trigo, destaca-se o glyphosate. Esse é um herbicida sistêmico é utilizado em pré-semeadura para manejo da cobertura vegetal anual e perene, principalmente no sistema de semeadura direta (MAGALHÃES et al., 2001; KOGER et al, 2005). Além disso, também pode ser utilizado em pós-emergência nas culturas resistentes, como é o caso do milho que pode ser cultivado adjacentes a áreas de trigo (PAULA et al., 2011).

Já o imazamox pertence à família química de imidazolinonas, do grupo dos inibidores da ALS. Esses herbicidas controlam um amplo espectro de plantas daninhas

gramíneas e de folha larga em pós-emergência com baixas taxas de aplicação (TAN et al., 2005). O imazamox é um herbicida utilizado no sistema de manejo Clearfield[®], para a cultura do trigo, que confere as plantas tolerância ao mesmo. Em plantas suscetíveis ocorre a paralisação do crescimento, desenvolvimento de clorose internerval nas folhas jovens e necrose nos meristemas apicais. Quando resíduos do herbicida estão presentes no solo, as raízes laterais são afetadas e seu crescimento é paralisado, e as folhas podem emergir apresentando manchas e má formação (TAN et al., 2005).

As aplicações dos herbicidas podem provocar o fenômeno da deriva, atingindo assim culturas adjacentes não-alvos (MAGALHÃES et al., 2001). A deriva de herbicidas pode ser definida como parte da pulverização agrícola desviada para fora da área alvo (MILLER, 1993), essa deriva ocorre através do movimento de gotas de pulverização ou de vapores, podendo causar injúrias ou resíduos proibidos em plantas vizinhas suscetíveis, constituindo-se em uma das principais causas de perdas de herbicidas. Outros fatores que podem ser citados, como influentes para ocorrência da deriva, é o tipo de equipamento, calibração, tipo de pontas de pulverização, técnicas de aplicação, condições climáticas e habilidade do operador (CUNHA et al., 2003; COSTA et al., 2007).

Culturas suscetíveis pode receber subdoses de herbicidas não seletivos também por contaminação de tanque de pulverização através de sobras de calda e ou resíduos após lavagem inadequada. Por se tratar de herbicidas não seletivos, estes podem acarretar em injúrias e redução do potencial produtivo de culturas suscetíveis. Trabalhos com estudos de contaminação de tanque, vem sendo realizados, com dicamba na cultura do soja (SOLTONI et al., 2016; ALVES et al., 2020).

Adicionalmente, para aumentar a produtividade e a qualidade dos grãos de trigo, são adotadas práticas de manejo como o aumento da densidade de semeadura associada ao aumento nas doses de nitrogênio, porém, tais práticas podem promover o acamamento da cultura, o que afeta negativamente na produção e na qualidade dos grãos (ZAGONEL, 2002).

Nesse sentido, para reduzir o acamamento das plantas vêm sendo utilizados os reguladores de crescimento, que evitam perdas na qualidade de grãos, além de facilitar a colheita. Os reguladores de crescimento são substâncias não sintetizadas pelas plantas que interferem no seu crescimento, na redução de estatura, na mitigação ou estímulo de senescência de folhas, como também maturação de frutos (TAIZ & ZEIGER, 2004). Dessa forma, possibilitam o uso de maiores doses de nitrogênio, mesmo em cultivares

de porte mais alto, promovendo redução acentuada do comprimento do colmo com redução da estatura da planta.

Os reguladores de crescimento são compostos sintéticos utilizados para reduzir o crescimento longitudinal indesejável da parte aérea das plantas sem diminuição da produtividade (RADEMACHER,2000). Dentre eles, o trinexapac-ethyl promove redução acentuada do comprimento do colmo com redução da estatura da planta. O trinexapac-ethyl é absorvido pelas folhas, sendo translocado até os nós do colmo, atuando no balanço das giberelinas e afetando a alongação dos entre nós (COSTA et al., 2010).

Além desses benefícios, trinecxapac-ethyl apresenta efeitos sobre arquitetura das plantas, melhorando na capacidade de interceptação de radiação solar, assim como pelo direcionamento do carbono não usado no crescimento em estatura (CHAVARRIA et al., 2015).

1.1 HIPÓTESES

- (i) a interação de trinexapac-ethyl e subdoses de glyphosate podem incrementar os parâmetros de crescimento e produtividade do trigo.
- (ii) as subdoses de imazamox aplicados em diferentes estágios fenológicos do trigo causam danos no desenvolvimento e perdas na produtividade do trigo.

1.2 OBJETIVO GERAL

O estudo tem por objetivo avaliar a resposta do trigo pela deriva simulada de glyphosate associado com trinexapac-ethyl e imazamox em diferentes estágios fenológicos do trigo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do estudo são: avaliar os efeitos de subdoses de glyphosate associados a aplicação de trinexapac-ethyl em duas cultivares de trigo; e avaliar a resposta do trigo à deriva simulada de imazamox em diferentes estágios fenológicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos principais cereais de inverno cultivados na região Sul do Brasil. O cereal é empregado na alimentação humana, na elaboração de produtos não alimentícios (misturas adesivas, para papéis) na indústria de fármacos e cosméticos, bem como na alimentação animal, na forma de forragem, de grão ou na composição de ração (DE MORI & IGNACZAK, 2011).

Considerada uma das culturas de inverno mais importante na produção agrícola sustentável, acaba sendo uma alternativa aos agricultores na sucessão e/ ou rotação em sistemas de produção, onde tal atividade acaba contribuindo na melhoria da fertilidade do solo e na diminuição de incidências de pragas, doenças e plantas daninhas (BEVILACQUA, 2019). No Sul do Brasil, dentre os sistemas de cultivos praticados, a semeadura do trigo durante o inverno consiste em uma das melhores opções para reduzir a infestação de plantas daninhas, para a cultura subsequente, promovendo a cobertura do solo durante o período (OLIVEIRA NETO et al., 2013).

O trigo é o segundo cereal mais cultivado no mundo depois do milho, em 2019, segundo dados da FAO (FAOSTAT, 2020), foram produzidas cerca de 1,15 bilhão de toneladas de milho e 766 milhões de toneladas de trigo, com valor de mercado da ordem de US\$ 114 milhões. No Brasil, a área semeada na safra 2020 foi de cerca de 2,3 milhões de hectares, com produção de 6,24 milhões de toneladas (CONAB, 2020). A região Sul é a que mais se destaca na produção de trigo, sendo responsável por 88,7% do total e o Rio Grande do Sul representando 36,3% do total produzido no país (CONAB, 2020).

Entretanto, a produtividade está abaixo do potencial produtivo da cultura, entre os fatores que limitam a expressão está a competição com as plantas daninhas, as quais disputam luz, nutrientes e água com a cultura, trazendo prejuízos à qualidade do trigo, além do aumento dos custos de produção (LAMEGO et al., 2013).

Os programas de melhoramento genético têm procurado desenvolver cultivares, com pequeno porte e pouco crescimento vegetativo, que apresentem elevado acúmulo

de fotoassimilados nas sementes. A produtividade de grãos é um caráter de herança quantitativa de alta complexidade, determinado por vários genes, em decorrência da combinação entre seus diferentes componentes o que acaba tornando complexa e de difícil tarefa a seleção de genótipos superiores. Além disso, o rendimento de grãos, como produto final, resulta da interação de diversos fatores genéticos, fisiológicos e ambientais e, por isso, não pode ser considerado isoladamente (GONDIM et al., 2008). Com frequência, esse acréscimo na produtividade da espécie cultivada é acompanhado por decréscimo no potencial competitivo contra as plantas daninhas (PITELLI, 1987). Em decorrência disso, as plantas daninhas frequentemente levam vantagem competitiva sobre as cultivadas sob condições semelhantes.

Nas cultivares de trigo, o que define sua capacidade em competir com as plantas daninhas são o conjunto de características morfofisiológicas. O cultivo de genótipos com elevada capacidade competitiva constitui-se em prática importante no manejo cultural das plantas daninhas, propiciando vantagem na aquisição dos recursos do meio à espécie que se estabelece antes. As plantas cultivadas que se caracterizam por elevada estatura e maior duração de ciclo costumam reduzir a quantidade e a qualidade da luz incidente sobre as infestantes e diminuem a taxa fotossintética destas, ocasionando menor potencial de dano à cultura (RIGOLI et al., 2009). Estudos sobre competitividade de culturas com plantas daninhas permitem desenvolver estratégias para seu manejo, pois podem definir as características que confirmam maior habilidade competitiva às culturas. Além do controle das espécies daninhas com alguns herbicidas que agem de forma eficiente e seletiva.

2.2 DERIVA/RESÍDUOS DE HERBICIDAS SOBRE CULTURAS NÃO ALVO

No trigo uma das principais limitações para a produção é a presença de plantas daninhas, o que reduz o rendimento de grãos em cerca de 24% (JABRAN et al., 2017). Uma das alternativas no controle de plantas daninhas com maior eficiência é a aplicação de herbicidas, que cresceu de forma exponencial devido a expansão da fronteira agrícola brasileira. O uso de herbicidas em culturas adjacentes, podem provocar danos sobre culturas suscetíveis, seja por deriva ou contaminação no tanque de pulverização (MAGALHÃES et al., 2001).

A deriva de herbicidas pode ser definida como parte da pulverização agrícola desviada para fora da área alvo (MILLER, 1993), essa deriva ocorre através do movimento de gotas de pulverização ou de vapores, podendo causar injúrias ou resíduos proibidos em plantas vizinhas suscetíveis, constituindo-se em uma das principais causas de perdas de herbicidas. Pode ser denominada exoderiva correspondente à perda do produto fora dos domínios da planta ou endoderiva sendo a perda do produto dentro dos domínios da planta (ANTUNIASSI, 2012).

Além disso, a ocorrência da deriva, pode exigir aplicações adicionais do produto fitossanitário em função em uma subdosagem, para compensar a perda por deriva e assegurar o nível de controle desejado (OLIVEIRA, 2018). Dessa forma, a deriva pode prejudicar o desenvolvimento das plantas e reduzir a produtividade, demonstrando a necessidade de adoção de cuidados especiais na tecnologia de aplicação de herbicida.

A composição da calda de pulverização tem também elevada influência nos riscos de deriva. Atualmente, a indústria desenvolve formulações ou produtos específicos que permitem minimizar as perdas de herbicidas para o ambiente e potencializando sua eficiência. Dentre os produtos mais usados estão alguns adjuvantes de calda com características antideriva e as formulações de baixa volatilidade e com baixo potencial de formação de gotas muito finas (GANDOLFO & GANDOLFO, 2016).

Entre os fatores que interferem na ocorrência da deriva acidental podem ocorrer em função do tipo de equipamento, tamanho da gota, altura da ponta de pulverização, velocidade de operação, condições ambientais (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar), volume de aplicação, características do herbicida e ainda, habilidade do operador (CUNHA et al., 2003; COSTA et al., 2007). A deriva dos produtos fitossanitários é considerada um dos maiores problemas na agricultura, por reduzir a eficiência da aplicação e colocar em risco as culturas instaladas em áreas vizinhas (LANGARO et al., 2014), além da possível contaminação ambiental.

Com a introdução de culturas resistentes ou tolerantes a herbicidas dentro dos sistemas de produção, o cuidado na descontaminação do tanque de pulverização se tornou imprescindível, principalmente quando o mesmo equipamento é utilizado em culturas que não possuam a tecnologia inserida. A aplicação de herbicidas pós-emergentes seletivos associado a subdoses de herbicidas não seletivos podem causar fitotoxicidade e reduzir a produtividade das culturas (KELLEY et al., 2005; BROWN et al., 2009; SOLTANI et al., 2016; ALVEZ et al., 2020)

No Brasil, em função das suas características climáticas, é possível observar o cultivo de plantas de verão e de inverno coexistindo no tempo, por exemplo milho e trigo. A época de semeadura do milho pode variar de agosto até janeiro, enquanto que o trigo de março até julho, sendo assim o uso de herbicidas em alguma dessas culturas pode ocasionar prejuízos via deriva ou contaminação no tanque de pulverização.

No Brasil, recentemente, foram registrados cultivares de trigo CL, os quais são tolerantes ao imazamox para aplicações em pós-emergência de plantas daninhas (BIOTRIGO 2020). O herbicida registrado é o Raptor[®] 70 DG, seletivo para o controle de plantas infestantes no trigo Clearfield[®] (BASF, 2021). A utilização desses herbicidas próximos a culturas não resistentes/tolerantes ou a descontaminação do tanque ineficaz pode causar injúrias e possivelmente reduzir a produtividade das culturas.

O glyphosate é um herbicida sistêmico com translocação principalmente via floema (GALLI, 2009; RODRIGUES, 2009), não seletivo (exceto para as culturas geneticamente modificadas, que possuem resistência ao glyphosate), altamente solúvel em água. O mecanismo de ação baseia-se pela inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs) que catalisa a condensação do ácido chiquímico e do fosfato piruvato, evitando, assim, a síntese de três aminoácidos aromáticos essenciais – triptofano, fenilalanina e tirosina, desencadeando a paralisação do desenvolvimento das plantas, amarelecimento das folhas e meristemas, seguido de necrose e morte das plantas (KARAM & OLIVEIRA, 2007). O período entre aplicação até a morte da planta é de 4 a 20 dias.

O herbicida é utilizado em pós-emergência para manejo da cobertura vegetal anual e perene antes da semeadura das culturas, principalmente no sistema de semeadura direta (MAGALHÃES et al., 2001; KOGER et al., 2005). Além disso, também pode ser utilizado em pós-emergência total, em culturas transgênicas resistentes, e de forma dirigida em outras culturas não transgênicas, proporcionando controle de plantas daninhas durante todo o ciclo agrícola (PAULA et al., 2011). Também é frequentemente usado em situações não agrícolas, como beira de estradas. Pode ser aplicado por equipamento terrestre ou aéreo, e é frequentemente aplicado ao longo do ano para controlar vegetação em muitos ambientes agrícolas e industriais (KOGER et al., 2005).

O uso frequente de glyphosate pode trazer riscos de fitointoxicação em várias espécies vegetais, sendo relatada para diversos cultivos agrícolas. Havendo diversas pesquisas que relatam os efeitos danosos de subdoses de glyphosate sobre o

desenvolvimento e produtividade de arroz (*Oryza sativa* L.) e milho (*Zea mays* L.) (ELLIS et al., 2003), eucalipto (TUFFI SANTOS et al., 2005), algodão (MILLER et al., 2004; YAMASHITA & GUIMARÃES, 2005) e trigo (DEEDS et al., 2006).

A aplicação de glyphosate na dose de 180 g ha⁻¹ em algodão no estágio de 4 folhas causa redução de 40% na produtividade (YAMASHITA & GUIMARÃES, 2006). Figueiredo et al. (2007) demonstram que a aplicação de doses reduzidas do glyphosate interfere negativamente na cultura do tomateiro, como redução a altura de planta, o número de cachos, flores e frutos de tomate, independentemente do estágio de desenvolvimento da cultura.

No entanto, Felisberto et al. (2016), não observaram redução na produtividade de milho quando testaram a aplicação de subdoses de até 25,92 g ha⁻¹ de glyphosate nos estágios V4 e V8 de desenvolvimento da cultura do milho. Magalhães et al. (2001) também não encontraram reduções na produtividade da cultura do milho em experimento de simulação de deriva de glyphosate em doses de 2 a 4% da dose recomendada como herbicida (1440 g ha⁻¹) aplicadas em V6.

Além disso, com o aumentado uso de glyphosate em todo o mundo, a deriva para áreas não-alvo também aumentaram. Embora as taxas de deriva pareçam ser subletais, a lesão pode ser grave em culturas sensíveis, como milho, e pode reduzir o rendimento da safra, particularmente se a deriva ocorrer durante um estágio de crescimento sensível (REDDY et al., 2010).

O imazamox pertence à família química de imidazolinonas, pertencendo a um dos maiores grupos de herbicidas comerciais que atuam inibindo a acetohidroxiácido sintase (AHAS) (também chamado de acetolactato sintase, ALS) (ANASTASINI et al., 2020). É um herbicida sistêmico que atua em estágios iniciais de pós-emergência, causando a inibição da enzima acetolactato sintase, que está envolvida na síntese dos aminoácidos essenciais de cadeia ramificada isoleucina, leucina e valina (DUGGLEBY et al., 2008). Esses herbicidas também são capazes de se translocar para os tecidos jovens, onde esses aminoácidos são sintetizados (SHANER et al., 2019).

Os herbicidas inibidores da ALS bloqueiam o ciclo celular na fase G2 para mitose e na fase G1 para a síntese de DNA. As imidazolinonas são absorvidas através das folhas, sendo também absorvido via radicular em menor grau (SENSEMAN, 2007). A translocação se dá via xilema e floema acumulando-se nas zonas de crescimento, levando a paralização do crescimento e a morte em um período de quatro a seis semanas.

Esses herbicidas controlam um amplo espectro de plantas daninhas gramíneas e de folha larga em pós-emergência com baixas taxas de aplicação (TAN et al., 2005). Em plantas suscetíveis ocorre a paralisação do crescimento, desenvolvimento de clorose internerval nas folhas jovens e necrose nos meristemas apicais. Dessa forma, as folhas podem emergir apresentando manchas e má formação. Quando resíduos do produto estão presentes no solo, as raízes laterais são afetadas e seu crescimento é paralisado.

Na cultura do trigo, o surgimento de cultivares com tecnologia Clearfield (CL), proporcionando seletividade ao herbicida imazamox por indução de mutação ao gene ALS. Nos cultivares Clearfield, o imazamox pode ser aplicado pós-emergência do trigo para controle das principais plantas daninhas da cultura como azevém, aveia e nabiça. No entanto, cabe ressaltar que essa tecnologia deve ser adotada com cautela, pois a predominância de cultivares que não possui essa tecnologia, assim deve-se evitar contaminação e deriva a áreas adjacentes cultivadas com trigo e outras culturas suscetíveis.

Na cultura do arroz, a deriva de imazamox, nas subdoses entre 2,7 e 5,5 g ia ha⁻¹ em diferentes estágios de aplicação, causam redução na estatura, fitotoxicidade e produtividade (WEBSTER et al., 2016). Segundo Hensley et al. (2012), relatando o aumento do prejuízo quando o arroz com um perfilho foi tratado com taxas reduzidas de imazetapir e glyphosate. Outro trabalho com subdoses de 0,35 a 11,66 g i a ha⁻¹, constatou fitotoxicidade para a cultura na maior dose de exposição de imazamox em trigo, atingindo maior fitotoxicidade após 4 semanas a exposição das subdoses de imazamox na cultura (DEEDS et al., 2006).

2.3 REGULADOR DE CRESCIMENTO - TRINEXAPAC-ETHYL

Na cultura do trigo, um dos problemas enfrentados é a possibilidade frequente de acamamento de plantas, em função do porte alto das cultivares semeadas no Sul do Brasil, pois o aumento da densidade de semeadura associada ao aumento nas doses de nitrogênio, praticados para alavancar a produtividade e a qualidade dos grãos podem promover o acamamento de plantas, o que afeta negativamente na produção e na qualidade dos grãos (ZAGONEL et al., 2002).

Os reguladores de crescimento tem como objetivo reduzir a estatura de plantas para potencializar a produtividade de grãos, dessa forma permitindo a aplicação de doses maiores de nitrogênio sem aumentar os níveis de acamamento (HECKMAN et al., 2002). O trinexapac-ethyl tem se destacado, pela eficiência na redução da estatura das plantas de cereais de inverno, evitando o acamamento (ZAGONEL et al., 2002).

Desta forma, reguladores vegetais inibidores de giberelinas, como trinexapac-ethyl, tem sido indicado por permitir encurtamento de entre nós das plantas e consequente redução do porte e da possibilidade de acamamento (ZAGONEL & FERNANDES, 2007), pelo retardamento do crescimento vegetativo. Estes são compostos sintéticos utilizados para reduzir o crescimento longitudinal da parte aérea das plantas, sem diminuição na produtividade (RADEMACHER, 2000).

Além desses benefícios, a possibilidade da redução do crescimento das plantas de trigo culminar em maior rendimento, pela melhor capacidade de interceptação de radiação solar, em momentos importantes de definição de produtividade, assim como, pelo direcionamento do carbono não usado no crescimento em estatura (CHAVARRIA et al., 2015).

O trinexapac-ethyl atua reduzindo a alongação celular e consequentemente a altura do colmo no estágio vegetativo e inibindo a biossíntese do ácido giberélico. Este redutor de crescimento atua no balanço das giberelinas, reduzindo os níveis do ácido giberélico ativo (GA1), responsável pelo crescimento das plantas e aumentando significativamente o seu precursor biosintético imediato GA20 (NAKAYAMA et al., 1990). A redução do nível do ácido giberélico ativo é a provável causa da inibição do crescimento das plantas (RADEMACHER, 2000).

O trinexapac-ethyl é um regulador com ação na inibição da alongação dos entre nós, assim as plantas têm dificuldade de formação dessas giberelinas ativas e passam a sintetizar e acumular giberelinas biologicamente menos eficientes, o que leva, na prática a drástica redução no alongamento celular (crescimento), sem causar deformação morfológica dos colmos (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O trinexapac-ethyl usado como regulador de crescimento, pode anular os efeitos negativos do adensamento da cultura através do aumento do diâmetro do colmo e a redução no comprimento do entre nós e, consequentemente, na estatura de planta (SCHWERZ et al., 2012).

Segundo Marco Junior et al. (2013) ao testarem as doses de trinexapac-ethyl na cultura do trigo, observaram que as doses de 0,3 e 0,4 L ha⁻¹ de trinexapac-ethyl reduziu

a estatura de planta, e aumentou a produtividade de grãos. Já Ferreira et al. (2017), indicam que a 0,2 L ha⁻¹ de trinexapac-ethyl foi a dose ótima para o parâmetro de produtividade, mostrando que doses maiores comprometem o rendimento da cultura e qualidade do grão para a indústria. Segundo Chavarria et al. (2015), o regulador de crescimento trinexapac-ethyl aumenta o teor de clorofila e a relação entre raiz e parte aérea do cultivar Mirante e a produtividade dos cultivares de trigo Quartzo e Mirante. Porém, não interfere na qualidade de grãos desses cultivares, demonstrando assim seu potencial como redutor de crescimento sem afetar na produtividade do trigo.

3 ARTIGO I –INTERAÇÃO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE E REGULADOR DE CRESCIMENTO EM TRIGO

Artigo nas normas da Revista Ceres

3.1 RESUMO

A cultura do trigo, na região sul do Brasil, apresenta elevada importância econômica, sendo necessários inúmeros tratamentos culturais no seu ciclo de desenvolvimento. Este estudo avaliou efeitos de subdoses de glyphosate associadas à aplicação de trinexapac-ethyl em duas cultivares de trigo. O experimento foi conduzido a campo na safra 2019, em delineamento blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições, arranjos em esquema trifatorial, sendo que o fator A foi composto pelos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino; o fator B pelo uso de regulador de crescimento trinexapac – ethyl (0 e 125 g i.a. ha⁻¹); e o fator C pelas subdoses de glyphosate: 0; 9; 18; 36; 72 g e.a. ha⁻¹. O efeito da deriva simulada de glyphosate aumentou a fitotoxicidade e reduziu estatura, a matéria seca e a produtividade da cultura do trigo. A fitotoxicidade foi mais significativa quando associada ao uso de trinexapac-ethyl para ambos os cultivares. O cultivar Audaz apresentou os maiores sintomas de fitotoxicidade. A estatura de plantas foi reduzida com o uso de trinexapac-ethyl em ambos os cultivares. Subdoses crescentes de glyphosate reduziram a estatura em ambas as épocas avaliadas. O cultivar ORS Citrino apresenta menor perda de matéria seca e produtividade em relação ao TBIO Audaz. Os cultivares de trigo apresentaram redução na produtividade com o uso de trinexapac-ethyl. Subdoses de glyphosate reduzem a produtividade final de trigo para ambos os cultivares.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. trinexapac-ethyl. Deriva. Fitotoxicidade. Produtividade.

3.2 INTRODUÇÃO

No Brasil, o cultivo do trigo se concentra principalmente na região Sul, sendo que na safra 2020, foram cultivados 2,3 milhões de hectares com produtividade média de 2665 kg ha⁻¹ (IBGE, 2020). No Rio Grande do Sul, a área para o cultivo foi de 930 mil hectares, para a safra de 2020, corresponde a 36% da área de plantio brasileira com o grão.

O manejo de plantas daninhas ou plantas de cobertura em pré-semeadura das culturas ocorre principalmente com o uso do herbicida glyphosate, o qual é um herbicida não seletivo utilizado em várias culturas e em diferentes épocas do ano, podendo ser utilizado de forma isolada ou em combinação com outros herbicidas (Almeida *et al.*, 2015). Este herbicida inibe a enzima 5-enolpiruvilshikimato-3- fosfato sintase (EPSPs), o qual é precursor de três aminoácidos essenciais – triptofano, fenilalanina e tirosina (Rodrigues & Almeida, 2018).

Na região Sul do Brasil, o milho pode ser cultivado a partir do mês de julho, momento em que podem coincidir com o cultivo do trigo. Assim sendo, a utilização de glyphosate para o manejo na cultura do milho, podem gerar problemas via deriva ou contaminação em tanque e atingir lavouras de trigo. A deriva é o movimento de herbicidas para fora do alvo, e ocorre principalmente numa combinação dos fatores no momento da aplicação como velocidade do vento e espectro de gotas pequenas. A produção de partículas de menor tamanho pelas pontas favorecem a deriva e a volatilidade dos agrotóxicos (Chechetto, 2013; Gandolfo *et al.*, 2014).

Além disso, há diversas pesquisas que relatam os efeitos danosos de subdoses de glyphosate sobre o desenvolvimento e produtividade de arroz e milho (Ellis *et al.*, 2003), eucalipto (Tuffi Santos *et al.*, 2005), algodão (Miller *et al.*, 2004; Yamashita &

Guimarães, 2005) e trigo (Deeds *et al.*, 2006). Entretanto, os danos causados por glyphosate são dependente de doses e estágio da cultura.

Em trigo, os danos por deriva de glyphosate são maiores quando a cultura está no estágio alongamento do colmo comparado com florescimento (Deeds *et al.*, 2006). As perdas de produtividade podem chegar em até 25% quando simulado deriva de glyphosate (87 g ha⁻¹) no estágio de emborrachamento do trigo (Davis *et al.*, 2013). Em contraste, subdoses de glyphosate até 10 g ha⁻¹ podem incrementar a produtividade de cevada e aveia branca até 12 e 30%, respectivamente (Cedergren *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2020).

A maioria dos trabalhos publicados que envolvem subdoses de herbicidas, simulando deriva ou contaminação de tanque, e seus efeitos nos cultivos costumam testar a aplicação dos herbicidas de forma isolada. Porém, em condições de campo, essas subdoses podem interagir com outros produtos aplicados ou até mesmo no tanque de pulverização. A interação de subdoses de herbicidas com outras substâncias podem alterar a capacidade absorção, translocação e metabolização por parte das culturas. Nesse sentido, Kelley *et al.* (2005) e Brown *et al.* (2009) verificaram que a aplicação de herbicidas seletivos na pós-emergência da soja pode agravar os sintomas ocasionados pela deriva de auxinas sintéticas.

Contudo, na cultura do trigo, a prática de uso de reguladores de crescimento tem como objetivo principal a redução do porte das plantas para evitar o acamamento. Outros benefícios são relacionados ao uso de regulador como melhora na captação de radiação solar pela alteração da arquitetura de folhas, maior crescimento de raízes, redução da respiração (Heckman *et al.*, 2002; Pecckowski *et al.*, 2009; Chavarria *et al.*, 2015). Entretanto, os reguladores podem ser utilizados como agentes tolerantes de estresse, como no caso da cana de açúcar, em que trinexapac-ethyl aumenta a

reatividade do sistema de enzimas antioxidantes, os quais podem minimizam os efeitos de estresses (Moreira *et al.*, 2020). Por outro lado, a mistura de fungicidas com trinexapac-ethyl pode reduzir a efetividade do regulador de crescimento em trigo (Kleczewski & Whaley, 2018). Não há estudos na literatura que indiquem os efeitos da interação do uso de regulador de crescimento em trigo com subdoses de glyphosate.

Portanto, tem se como hipótese que a interação entre trinexapac-ethyl e subdoses de glyphosate reduz os efeitos do regulador de crescimento e reduz a produtividade do trigo. Desse modo, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos de subdoses de glyphosate associados a aplicação de trinexapac-ethyl em duas cultivares de trigo.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra de inverno de 2019, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (SANTOS *et al.*, 2013), com as seguintes características físico-químicas na camada de 0-20 cm: argila de 56%; pH = 5,9; SMP (H₂O) = 6,5; MO = 4,0%; P = 4,5 mg dm⁻³; K = 332,7 mg dm⁻³; Ca = 7,44 mg dm⁻³; Mg = 3,51 mg dm⁻³; CTC = 14,3 cmolc dm⁻³; SB = 82,4 cmolc dm⁻³. Durante a condução do experimento, as temperaturas médias foram: 17,9; 18,3; 18,1; 16,4; 19,9; 22,3 °C; e a precipitação total foram de 327; 90; 119; 68; 133 e 227 mm nos meses de Maio a Outubro, respectivamente. Adicionalmente, foram aplicadas duas lâminas de irrigação de 15 mm nos meses de junho e agosto.

O delineamento experimental foi arranjado de forma sub subdividida com quatro repetições, sendo que os fatores foram arranjados em esquema trifatorial (2x2x5). Nas parcelas principais foram alocados os cultivares de trigo TBIO Audaz (porte médio/baixo) e ORS Citrino (porte médio); Na sub parcela, o regulador de crescimento trinexapac – ethyl (TE) nas doses 0 e 125 g i.a. ha⁻¹; e na sub subparcela, as subdoses de

glyphosate: 0; 9; 18; 36 e 72 g e.a. ha⁻¹, as quais representam entre 1,2 a 9,7% da dose de glyphosate recomendada de 740 g e.a. ha⁻¹. As unidades experimentais experimentais foram de 1,36 m x 5 m.

Os experimentos foram instalados em sucessão a soja, sendo posteriormente dessecados com glyphosate + metsulfuron-ethyl (1200 + 4,2 g i.a. ha⁻¹) aos 18 dias antes da semeadura (DAS) seguido de aplicação de paraquat (400 g i.a. ha⁻¹) aos 3 DAS.

Os cultivares de trigo foram semeados em 0,17 m de espaçamento entre linhas, estabelecendo população final de 242 plantas m⁻². A adubação de base foi estimada pela expectativa de produtividade de 3600 kg ha⁻¹, conforme as recomendações técnicas das culturas (Reunião..., 2018). A aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizado no estágio do trigo V4, na dose de 32 kg de N ha⁻¹. Para o controle de plantas daninhas após a emergência do trigo foi utilizado clodinafope (60 g i.a ha⁻¹ + 0,05 % v/v de óleo mineral) aos 24 dias após a emergência (DAE) e metsulfuron-ethyl (3,2 g i.a. ha⁻¹) aos 33 DAE.

A aplicação dos tratamentos foram realizados de forma sequencial no mesmo dia, sendo primeiro a aplicação do TE e posteriormente as subdoses de glyphosate, em um intervalo de uma hora de aplicação, quando as plantas de trigo estavam no estágio de segundo nó detectável, e primeiro nó perceptível (escala de Zadoks - GS32). Os tratamentos foram aplicados com pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com três pontas de pulverização tipo leque 110.02, distanciados a 50 cm cada, em um volume de aplicação de 150 L ha⁻¹. No momento das aplicações as condições de temperatura e umidade relativa do ar foram de 17,9°C e 76%, respectivamente.

As variáveis avaliadas foram fitotoxicidade aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA), utilizando escala de 0 a 100%, onde 0% representa a inexistência de sintomas visuais e 100% a morte da planta (SBCPD 1995). A estatura de plantas foi tomada aos

14, 28 DAA e pré-colheita, tomando-se cinco plantas aleatórias e medindo a distância do solo até o ápice da planta. A matéria seca do trigo foi determinada aos 28 DAA coletando amostras de planta em uma área de 0,34 m², sendo posteriormente colocada pra secar em estufa de circulação de ar forçada a 60° por 72 horas.

As parcelas de trigo foram colhidas manualmente em 5 linhas por 3 metros de comprimento. Após, as amostras foram trilhadas, pesadas para determinação da produtividade de grãos, a qual ajustada para 13% de umidade.

A normalidade dos dados foram verificados pelo teste de Shapiro –Wilk e análise dos resíduos. Os dados foram submetidos a análise de variância, utilizando $F < 0,05$ para efeitos simples e $F < 0,10$ para interações. Os fatores cultivares e regulador foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e as subdoses de glyphosate foram ajustados por modelos de equações, sendo estas procedidas entre os cultivares e TE conforme as interações. As análises estatísticas e os gráficos foram realizados com auxílio do software RBio e SigmaPlot versão 10.0.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interações entre cultivar e subdoses de glyphosate para fitotoxicidade aos 14 e 28 DAA (Tabela 1). Observou-se interação entre cultivar, subdoses de glyphosate e Trinexapac-ethyl para a estatura aos 14 DAA e matéria seca do trigo. Na estatura pré-colheita houve interação entre subdoses de glyphosate e cultivar e também subdoses de glyphosate e trinexapac-ethyl. Já na produtividade observou-se interação entre cultivar e subdoses de glyphosate.

A fitotoxicidade dos cultivares aos 14 DAA aumentou exponencialmente em função do aumento das subdoses de glyphosate, apresentando valores similares entre os cultivares até a subdose de 36 g ha⁻¹ de glyphosate, em média 11,8%, enquanto que

ligeiro aumento nos sintomas do cultivar Audaz (28%) em comparação ao Citrino (23%) foram verificados na dose de 72 g ha⁻¹ (Figura 1A). Aos 28 DAA, a fitotoxicidade aumentou de forma linear para ambas cultivares, sendo que o Citrino mostrou-se ligeiramente mais tolerante aos efeitos fitotóxicos de glyphosate quando comparado com Audaz (Figura 1B). A diferença na fitotoxicidade entre os cultivares foi de aproximadamente 10% nas subdoses acima de 36 g de glyphosate. O cultivar Audaz apresentou aumento na fitotoxicidade média na interação entre TE e glyphosate em cerca de 9% em relação ao não uso de TE, ao passo que o Citrino não sofreu influência do TE (dados não apresentados).

Uma das possíveis respostas a maior fitotoxicidade apresentada do cultivar Audaz, em da própria detentora do cultivar, que traz em suas recomendações para se evitar misturas de vários produtos químicos, pois este cultivar é mais sensível que outras cultivares e pode apresentar sintomas de fitotoxicidade (BIOTRIGO, 2020).

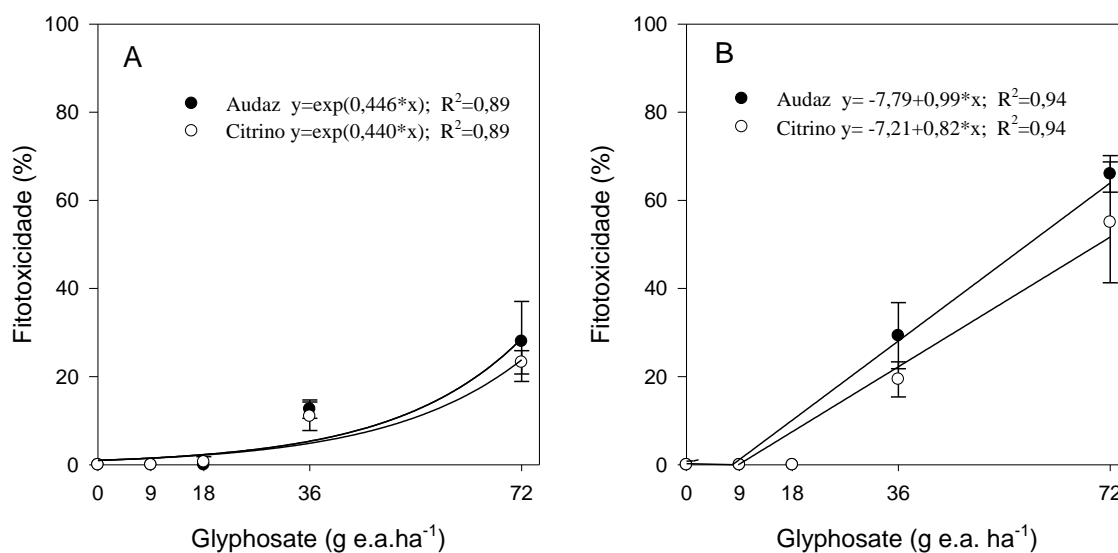


Figura 1: Efeito de subdoses de glyphosate na fitotoxicidade dos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino aos 14 DAA (A) e aos 28 DAA (B). Barras representam intervalo de confiança de 95%.

A aplicação de TE reduziu significativamente a estatura aos 14 DAA em ambas as cultivares na ausência de glyphosate, aproximadamente 14% (Figura 2A). Porém, o incremento das subdoses do herbicida potencializou a redução na estatura do trigo, independente do uso do regulador de crescimento. Aos 28 DAA, a estatura não apresentou efeitos da interação entre cultivares e regulador, apenas efeito das subdoses de glyphosate, no qual a estatura foi reduzida significativamente somente na maior subdose testada, com reduções de 22% (Figura 2B).

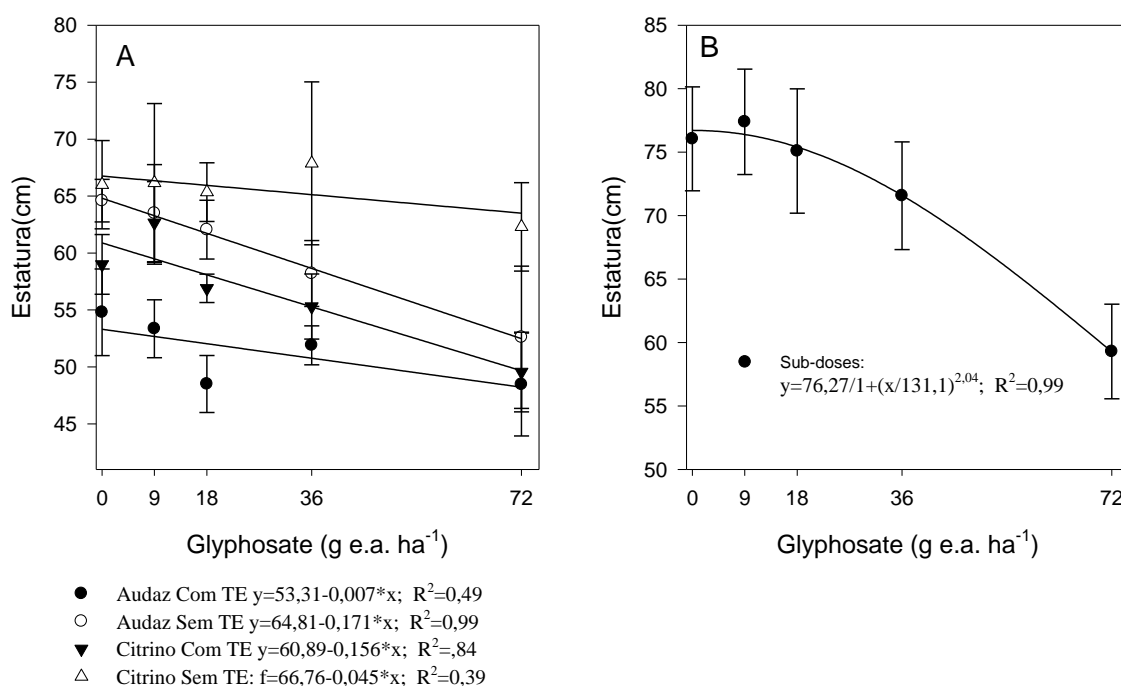


Figura 2: Efeito de subdoses de glyphosate associados ou não ao trinexapac-ethyl na estatura dos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino aos 14 DAA (A) e aos 28 DAA (B). Barras representam intervalo de confiança de 95%.

As subdoses de glyphosate tiveram maior impacto na redução da estatura pré-colheita do cultivar Audaz, o qual foi reduzida em 24%, e 16% para Citrino na maior

subdose testada (Figura 2A). Na interação entre TE e glyphosate, o uso do regulador manteve a estatura do trigo mais baixa, no entanto os efeitos do glyphosate foi mais pronunciado na ausência de TE (Figura 2B). O uso de baixas doses de glyphosate, pode desencadear efeitos de hormese com aumento na estatura de plantas como aveia branca e *Brachiaria brizantha* (Nascentes *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2020), entretanto nesse estudo não foi possível verificar esse fenômeno.

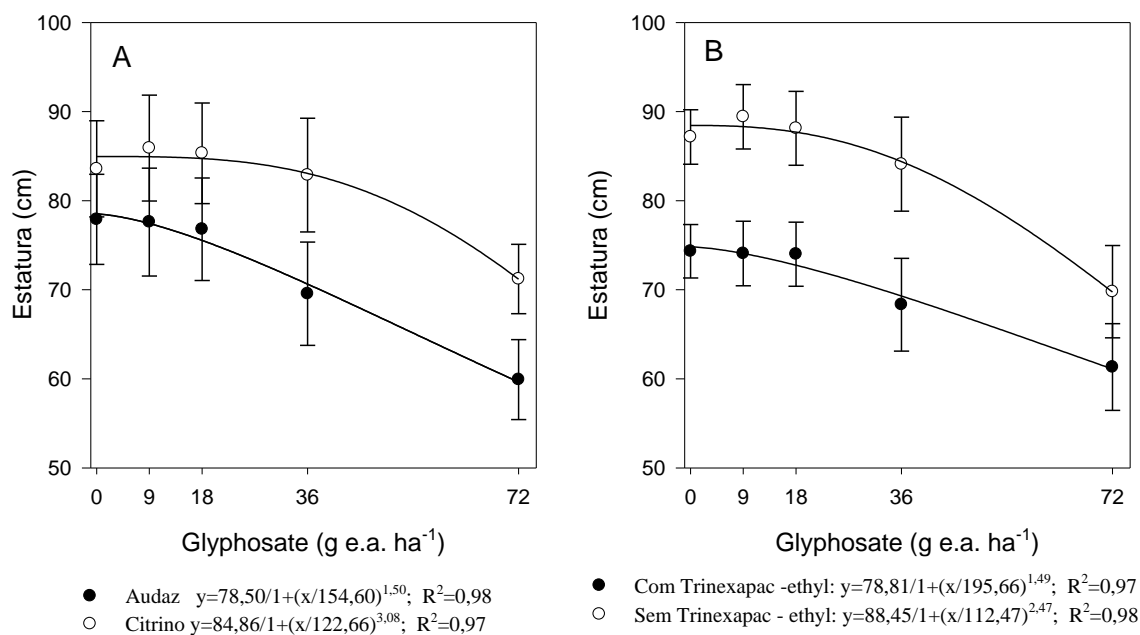


Figura 3: Estatura pré-colheita sob efeito de subdoses de glyphosate nos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino (A) e efeito de subdoses de glyphosate associado com trinexapac -ethyl (B). Barras representam intervalo de confiança de 95%.

A redução na estatura do trigo está diretamente relacionada ao mecanismo de ação do glyphosate, atua inibindo a atividade da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), assim a rota do chiquimato é interrompido, inibindo assim a síntese de triptofano, fenilalanina e tirosina, a síntese de proteínas nos meristemas apicais, resultando na interrupção do desenvolvimento (Silva *et al.*, 2012). Associado a

isto há o efeito do TE, que atua na redução dos níveis de ácido giberélico ativo que é reduzido drasticamente com a utilização do TE, por inibir a enzima 3 β -hidroxilase, aumentando assim, acentuadamente, seu precursor biossintético imediato (Zagonel & Fernandes, 2007). Desta forma com a redução nos níveis de giberelina na planta, resulta em menor crescimento, visto que a mesma é responsável pela divisão e alongamento celulares (Taiz & Zeiger, 2013).

No período que compreende a aplicação dos tratamentos até 28 DAA, a cultura passou por estresse hídrico, o que pode ter influenciado na recuperação dos efeitos do trinexapac-ethyl e as subdoses de glyphosate. Segundo Matysiak (2006), o TE tem maior efeito em trigo em anos mais chuvosos, não sendo recomendado aplicação em condições de deficiência hídrica (Fronza *et al.*, 2008).

Os sintomas e a redução na estatura das plantas causados por subdoses de glyphosate variam conforme cultivares, estágio e condições climáticas. Os resultados encontrados nesse estudo se assemelham aos encontrados por Roider *et al.* (2007) e Deeds *et al.* (2006), os quais os sintomas em trigo variaram entre 49% para 70 g ha⁻¹ e 80% para 84 g ha⁻¹ quando aplicados no estágio de alongamento de colmo, e redução de até 26% na estatura de plantas em subdose de 70 g ha⁻¹ (Roider *et al.*, 2007). Porém, os sintomas provocados por subdoses de glyphosate de até 84 g ha⁻¹ são mínimos quando aplicados no estágio de iniciação da panícula (Davis *et al.*, (2013).

A resposta da MS do trigo foi influenciada pela interação entre cultivares, regulador de crescimento e subdoses de glyphosate (Figura 4A). De forma geral, o aumento das subdoses de glyphosate reduziram o acúmulo de MS, no entanto o uso do TE minimizou os efeitos do glyphosate para ambos os cultivares. Por exemplo, para Audaz não foi verificada redução significativa até 20 g ha⁻¹, enquanto que para Citrino foi estimado incremento de até 8,4% na subdose de 24 g ha⁻¹. Na ausência de glyphosate, o

cultivar Audaz apresentou 22,6% maior acúmulo na MS em relação ao Citrino, entretanto, a redução na MS foi mais drástica para Audaz sob os efeitos da subdoses de glyphosate e ausência de TE.

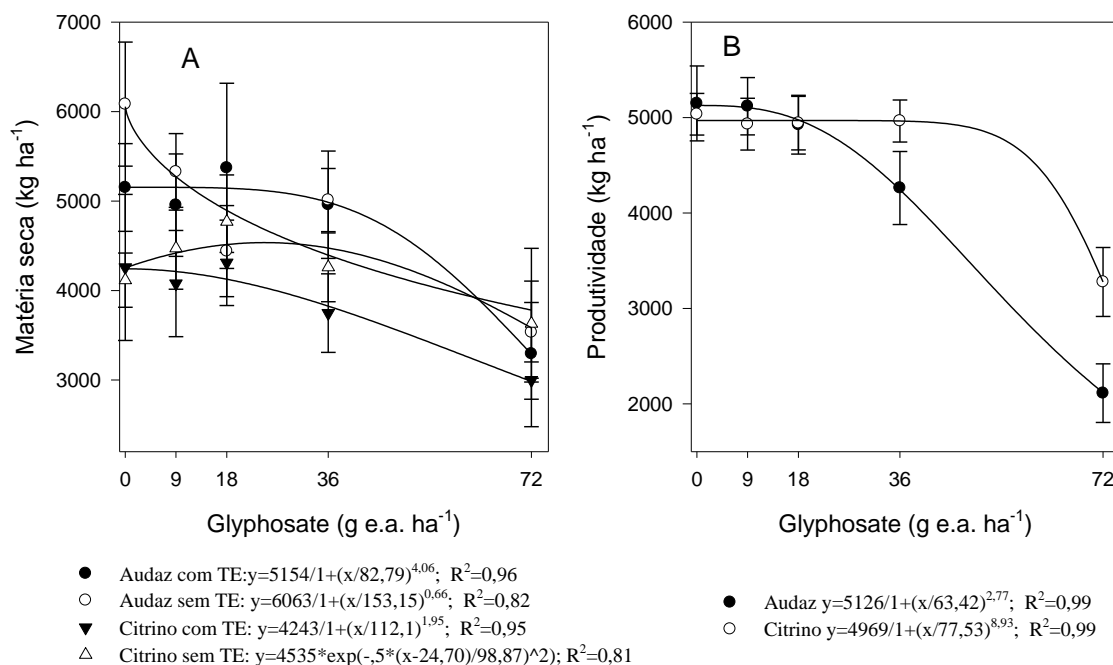


Figura 4: Matéria seca (A) e produtividade (B) dos cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino em função da aplicação de trinexapac ethyl (TE) e subdoses de glyphosate. Barras representam intervalo de confiança de 95%.

O incremento de MS em função das subdoses de glyphosate para o cultivar Citrino pode ser descrito como efeito de hormese. Resultados semelhantes foram observados em aveia branca, em que sob 14,9 g ha⁻¹ de glyphosate foi verificado um incremento de até 43% na MS (Silva *et al.*, 2020). Subdoses entre 10 e 25 g ha⁻¹ de glyphosate também incrementam a MS de culturas como soja, milho, cevada e eucalipto (Belz & Duke (2014).

A produtividade do cultivar Audaz foi mais afetada pelo incremento das subdoses de glyphosate, sendo reduzida em 17 e 59% para as subdoses de 36 e 72 g ha⁻¹, respectivamente (Figura 3B). A produtividade do cultivar Citrino permaneceu inalterada até a subdose de 36 g ha⁻¹ de glyphosate, e com perda máxima estimada de 34% na subdose de 72 g ha⁻¹. Embora o Citrino tenha apresentado sintomas de fitotoxicidade de 22% na subdose de 36 g ha⁻¹, isso não foi suficiente para reduzir a produtividade. Não foram detectadas diferenças na produtividade entre os cultivares até 18 g ha⁻¹ de glyphosate, entretanto as diferenças foram estimadas em 884 e 1158 kg ha⁻¹ para as subdoses de 36 e 72 g ha⁻¹, respectivamente.

Resultados da literatura apontam que a resposta da perda de produtividade do trigo em função de subdoses de glyphosate é muito variável. Deeds *et al.*, (2006) encontraram variação de perdas na produtividade entre 0 e 80% quando o trigo foi submetido a subdose de 25,5 g ha⁻¹ de glyphosate no estágio e alongamento de colmo. Resultados obtidos por Roider *et al.*, (2007) indicam menores impactos das subdoses de glyphosate sobre a produtividade, com redução de 29% na subdose de 70 g ha⁻¹. A deriva de glyphosate na cultura do trigo pode causar maiores impactos na produtividade quando ocorre em estágios mais precoces da cultura (Davis *et al.*, 2013).

O uso do TE reduziu a produtividade do trigo em aproximadamente 9%, com base nos dados médios de cultivares e subdoses de glyphosate (dados não apresentados). Resultados semelhantes também foram observados por Grijalva-Contreras *et al.* (2012), os quais verificaram que aplicação de trinexapac ethyl reduziu a produtividade de cultivares de trigo em até 10,1%, entretanto o estudo foi conduzido sem os efeitos de subdoses de glyphosate.

3.5 CONCLUSÃO

A utilização de TE e subdoses de glyphosate interferiram, em diminuição nos parâmetros de estatura, fitotoxicidade, matéria seca e produtividade nos cultivares de trigo avaliados. A fitotoxicidade foi mais significativa quando associada ao uso de TE, para ambos os cultivares. O cultivar Citrino apresentou ser mais tolerante ao glyphosate, apresentando maior produtividade e matéria seca em relação ao Audaz.

3.6 REFERÊNCIAS

Almeida DP, Agostini AR, Yamauchi AK, Decaro ST & Ferreira JRMC (2015) Droplets size categories and application volumes in burndown of plant covers. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 14(1):73-82.

Belz RG & Duke SO (2014) Herbicide and plant hormones. *Pest Management Science*, 70(3):698-707.

Brown LR, Robinson D, Young B, Loux M, Johnson W, Nurse R & Sikkema P (2009) Response of corn to simulated glyphosate drift followed by in-crop herbicides. *Weed Technology*, 23: 11–16.

Cedergreen N, Felby C, Porter JR & Streibig JC (2009) Chemical stress can increase crop yield. *Field Crops Research*, 114(1):54-57.

Chechetto RG, Antuniassi UR, Mota AAB, Carvalho FK, Silva ACA & Vilela CM (2013) Influence of spray nozzles and adjuvants in drift reduction potential in wind tunnel. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(1):37-46.

Córdova RA, Tomazetti M, Refatti JP, Agostinetti D, Avila LA & Camargo E.R. (2020). Drift Distance in Aircraft Glyphosate Application Using Rice Plants as Indicators. *Planta Daninha*, 38 :e020223422

Davis B, Scott RC, Norsworthy JK & Ed Gbur (2013) Response of wheat (*Triticum aestivum*) to low rates of glyphosate and glufosinate. *Crop Protection*, 54: 181-e184.

Deeds Z, Al-Khatib K, Peterson D & Stahlman, P (2006) Wheat response to simulated drift of glyphosate and imazamox applied at two growth stages. *Weed Technology*, 20: 23-31.

Ellis J, Griffin J, Linscombe S & Webster E (2003) Rice (*Oryza sativa*) and corn (*Zea mays*) response to simulated drift of glyphosate and glufosinate. *Weed Technology*, 17: 452-460.

Fagerness, MJ & Penner D (1998) Spray application parameters that influence the growth inhibiting effects of trinexapac-ethyl. *Crop Science*, 38:1028-1035.

Fioreze LS (2011) Comportamento produtivo do trigo em função da densidade de semeadura e da aplicação de reguladores vegetais. Botucatu: UNESP, Dissertação Mestrado 86p.

França AC, Freitas MAM, Fialho CMT, Silva AA, Reis MR, Galon L & Victoria RF (2010) Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. *Planta Daninha*, 28:599-607.

Fronza V, Campos LAC &, Riede CR (2007) Informações técnicas para a safra 2008: trigo e triticale. In: *Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de cultivares de trigo da parceria Embrapa, IAPAR e Fundação Meridional em 2007*, Londrina. Anais... Londrina: Embrapa Soja p. 123-147, 2008.

Gandolfo MA, Carvalho FK., Chechetto RG, Gandolfo UD, & Moraes ED (2014) Effect of working pressure at different spray nozzles on drift quantification in wind tunnel. *Engenharia Agrícola*, 34:66-73.

Grijalva-Contreras, RL, Marcías-duarte R, Martínez-Díaz G, Robles-Contreras F & Nuñez-Ramírez F (2012) Effects of trinexapac-ethyl on different wheat varieties under desert conditions of Mexico. *Agricultural Sciences*, 3:658-662.

Hawerroth MC, Silva JAG, Souza CA, Oliveira AC, Luche HS, Zimmer CM, Hawerroth FJ, Schiavo J, & Sponchiado JC (2015) Redução do acamamento em aveia branca com o uso de regulador de crescimento ethyl- trinexapac. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50: 115-125.

Heckman NL, Elthon TE, Horst GL & Gaussoin RE (2002) Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. *Crop Science*, 42:423-427.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020) [Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil> >. Acessado em: 20 de janeiro de 2021.

Johnson, B.J. (1994) Influence of Plant Growth Regulators and mowing on two Bermudagrasses. *Agronomy Journal*, 86:805-810.

Kelley KB, Wax LM, Hager AG & Riechers DE (2005) Soybean response to plant growth regulator herbicides is affected by other postemergence herbicides. *Weed Science*, 53: 101–112.

Kleczewski NM & Whaley C (2018) Assessing the utility of the growth regulator trinexapac-ethyl and fungicides in mid-Atlantic soft red winter wheat production systems. *Crop Protection*, 104:60-64.

Koger CH, Shaner DL, Krutz LJ, Walker TW, Buehring N, Henry WB, Thomas WE & Wilcut JW (2005) Rice (*Oryza sativa*) response to drift rates of glyphosate. *Pest Management Science*, 61:1161–1167.

Kruse ND, Trezzi MM, Vidal RA (2000) Herbicidas inibidores da EPSPs: revisão de literatura. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 1:139-46.

Matysiak K (2006) Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. *Journal of Plant Protection Research, Poznan*, 46:133-143.

Miller DK, Downer RG, Leonard BR, Holman ME, & Kelly ST (2004) Response of non glyphosate resistant cotton to reduced rates of glyphosate. *Weed Science*, 52:178-182.

Moreira, BRA, Viana RS, Figueiredo PAM, Lisboa LAM, Miasaki CT, Magalhães AC, Ramos SB &... May A (2020) Glyphosate Plus Carboxylic Compounds Boost Activity of Free Radical-Scavenging Enzymes in Sugarcane. *Agriculture*, 10:106.

Nascentes, RF, Fagan EB, Soares LH, Oliveira CB, & Brunelli MC (2015) Hormesis de glyphosate em *Brachiaria brizanta* cv. *Marandu*. Cerrado Agrocíncias, 6:55-64.

Rodrigues BN & Almeida FS (2018) Guia de herbicidas. Londrina, 7 ed. 764p.

Roider CA, Griffin JL, Harrison, SA & Jones CA (2007) Wheat Response to Simulated Glyphosate Drift. *Weed Technology*, 21:1010-1015.

Santos, LDT, Ferreira FA, Meira RMSA, Barros NF, Ferreira LR, & Machado AFL (2007) Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. *Planta Daninha*, 23:133-142.

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

Senseman, SA (2007) *Herbicide handbook*. Weed Science Society of America, 9 ed., 458p.

Silva, J.C, Arf O, Gerlach GAX, Kuryiama CS & Rodrigues RAF. (2012) Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuaria Tropical* 42: 295 -302.

Silva, DRO, Silva AAA, Novello BD, Rieder E, Aguiar ACM, & Basso CJ (2020) Nitrogen availability and glyphosate hormesis on white oat. *Planta daninha*, 38:e020230864.

Taiz L & Zeiger E (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3ª ed. Porto Alegre, Artmed. 719p.

Tan S, Evans RR, Dahmer ML, Singh BK & Shaner DL (2005) Imidazolinonetolerant crops: history, current status and future. *Pest Management Science*, 61:246–257.

Thomas, WE, Burke IC, Robinson BL, Pline-Srnić WA., Edmisten KL, Wells R, & Wilcut JW (2005) Yield and physiological response of nontransgenic cotton to simulated glyphosate drift. *Weed Technology*, 19:35-42.

Yamashita OM & Guimarães SC (2006) Deriva simulada de glyphosate em algodoeiro: efeito de dose, cultivar e estágio de desenvolvimento. *Planta Daninha*, 24:821-826.

Zagonel J & Fernandes EC (2007) Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. *Planta Daninha*, 25:331-339.

4 ARTIGO II – DERIVA SIMULADA DE IMAZAMOX EM TRIGO NÃO CLEARFIELD

Artigo nas normas da Revista Ceres

4.1 RESUMO

A presença de novas tecnologias no controle de plantas daninhas em trigo, como sistema Clearfield, pode acarretar em problemas de contaminação em áreas que não utilizam essa tecnologia. Assim, o objetivo foi avaliar a resposta do trigo a deriva simulada de imazamox em diferentes estágios fenológicos. Dois experimentos a campo foram conduzidos na safra 2019, em delineamento blocos casualizados com parcelas subdivididas e arranjo bifatorial, sendo que o fator A foi composto pela aplicação de herbicida em dois estágios fenológicos: GS 14 (perfilhamento) e GS 32 (alongação do colmo); o fator B pelas subdoses de imazamox: 0; 0,3; 0,9; 2,7; 4,05; 8,1 e 24,3 g i.a. ha⁻¹. Em ambos experimentos, a fitotoxicidade causada pela deriva simulada de imazamox foi mais pronunciada no estágio de perfilhamento, sendo estimada em até 50%. Por outro lado, no alongamento do colmo os sintomas por imzamox foram em média 30% na maior subdose testada (24,1 g i.a. ha⁻¹). A simulação de deriva de imazamox de até 8,1 g i.a. ha⁻¹ causou sintomas leves no trigo (<15%), independente do estágio fenológico. Porém, o potencial de redução na produtividade foi maior quando a deriva ocorreu na alongação do colmo, com perdas de até 100%. A simulação de deriva por imazamox resulta em maiores sintomas de fitotoxicidade quando aplicado no estágio de perfilhamento, principalmente nas subdoses do herbicida acima de 8,9% da dose recomendada. Embora os sintomas por imazamox sejam menores com aplicação no alongamento do colmo, o potencial de dano à produtividade é maior.

Palavras chave: imidazolinonas, contaminação em tanque, perda de produtividade, estágio fenológico, fitotoxicidade.

4.2 INTRODUÇÃO

A região Sul do Brasil é a que mais se destaca na produção de trigo, sendo responsável por 88,7% do total e o Rio Grande do Sul representando 36,3% do total produzido no país (Conab, 2020). Nos sistemas de cultivos praticados, a semeadura do trigo durante o inverno consiste em uma das melhores opções para reduzir a infestação de plantas daninhas, para a cultura subsequente, promovendo a cobertura do solo durante o período (Oliveira Neto *et al.*, 2013).

A competição com as plantas daninhas causa elevadas perdas na produtividade do trigo, portanto, o controle químico é o mais utilizado, sendo caracterizado por permitir a intervenção em grandes áreas com pouca dependência de mão de obra e rapidez na aplicação (Silveira *et al.*, 2012). Assim é importante conhecimento de herbicidas que possam ser utilizados de forma segura e possam garantir produtividade satisfatória.

O desenvolvimento de cultivares de trigo tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas, conhecida como tecnologia Clearfield®, representa um passo importante para otimizar o manejo de plantas daninhas. Nas cultivares Clearfield® é atribuída a uma mutação induzida no gene da enzima acetolactato sintase (ALS), apresentando características de tolerância aos herbicidas imidazolinonas, mais especificamente ao princípio ativo imazamox. O herbicida imazamox controla um amplo espectro de plantas daninhas de folhas estreitas e folha larga em baixas doses e tem ação tanto em pré e pós emergência (Scursoni *et al.*, 2017). Essa tecnologia permite

diversificar medidas de controle de plantas daninhas no trigo sem danos à lavoura ou perda de rendimento de grãos (Nakkaa *et al.*, 2019).

Com a utilização de tecnologia de culturas resistentes a herbicidas próximas ao cultivo de culturas convencionais, há sempre o risco de contaminação por resíduos no tanque de pulverização ou pela deriva, os quais podem ocasionar perdas em plantas suscetíveis. Embora a quantidade de herbicida que possam atingir os cultivos suscetíveis, seja por resíduos em tanque ou deriva sejam muito baixas, essas subdoses podem causar redução na produtividade. Os efeitos de subdoses de herbicidas do grupo das imidazolinonas tem sido estudados em algumas culturas suscetíveis, os quais indicam que os efeitos deletérios são maiores nos estágios iniciais do desenvolvimento das plantas (Bond *et al.*, 2006; Dal Magro *et al.*, 2006; Webster *et al.*, 2016). Em trigo, a deriva simulada de imazamox causou maiores sintomas de injúrias quando aplicados no estágio de alongamento do colmo do que no florescimento (Deeds *et al.*, 2006).

Cultivares de trigo não Clearfield® estão sujeitos a deriva de imazamox, que pode ser ocasionada por diferentes situações e levar a perdas na cultura. Portanto, tem se como hipótese que a deriva simulada de imazamox causam injúrias e danos à produtividade do trigo, principalmente quando aplicados nos estágios mais precoces da cultura. Com isso, o objetivo foi avaliar a resposta do trigo à deriva simulada de imazamox em diferentes estágios fenológicos.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos a campo na safra 2019 sendo um na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria em Frederico Westphalen (FW), e na, área experimental da Universidade de Cruz Alta (CA). Os experimentos foram

conduzidos em solos classificados como Latossolo Vermelho Distrófico típico em FW e Latossolo Vermelho em CA (Embrapa, 2020). As características físico-químicas do solos e condições meteorológicas se encontram nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

O delineamento experimental foi blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo que os fatores foram arrançados em esquema bifatorial (2x7). O fator A foi composto pela simulação da deriva nos estágios fenológicos de perfilhamento (GS 14 - 4ª folha desenrolada) e início de alongação do colmo (GS 32 - 2º nó detectável) pela escala de Zadoks; o fator B pelas subdoses de imazamox: 0; 0,3; 0,9; 2,7; 4,05; 8,1 e 24,3 g i.a. ha⁻¹, acrescidos de adjuvante não iônico Dash 0,25% v/v. As subdoses de imazamox representam entre 0,32 a 26,7 % da dose máxima recomendada para cultivares de trigo com tecnologia Clearfield® (CL). As unidades experimentais foram de 2,04 m x 5 m.

Os experimentos foram instalados em sucessão a soja, sendo posteriormente dessecados com glyphosate + metsulfuron-ethyl (1200 + 4,2 g i.a. ha⁻¹) aos 18 dias antes da semeadura (DAS) seguido de aplicação de paraquat (400 g i.a. ha⁻¹) aos 3 DAS em FW e para CA foi manejado com glyphosate + cletodim (1200 + 100 g i.a. ha⁻¹) aos 20 dias antes da semeadura (DAS) seguido de aplicação de paraquat (400 g i.a. ha⁻¹) aos 5 DAS. Para FW e CA foram utilizados os cultivares de trigo BRS 327 e ORS 1403, respectivamente, os quais foram semeados em espaçamento de 0,17 m entre linhas, estabelecendo-se uma população de 242 e 295 plantas m⁻², respectivamente.

A adubação de base foi estimada pela expectativa de produtividade de 3600 kg ha⁻¹, conforme as recomendações técnicas das culturas (Reunião..., 2018). A aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizado no estágio do trigo V4, na dose de 32 kg de N ha⁻¹, na forma de ureia, para ambos os locais.

As subdoses de imazamox foram aplicados com pulverizador pressurizado com CO₂ equipado com quatro pontas de pulverização tipo leque 11002, distanciados 0,5 m entre si e volume de calda de 150 L ha⁻¹. As condições meteorológicas para o momento da aplicação dos tratamentos nos estágios de perfilhamento e alongação do colmo, foram de 21,7 e 16,7°C, e 62 e 69% de umidade relativa, respectivamente em FW, enquanto que em CA a temperatura foi 18,8 e 14,1°C e 59 e 90% de umidade relativa do ar, respectivamente.

As variáveis avaliadas foram fitotoxicidade aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), utilizando escala de 0 a 100%, onde 0% representa a inexistência de sintomas visuais e 100% a morte da planta (SBCPD, 1995), contagem final de espigas por m², calculada através da contagem de 2 linhas por 2 metros de comprimento e produtividade final (kg ha⁻¹), em que as parcelas de trigo foram colhidas manualmente em 5 linhas por 3 metros de comprimento. Após, as amostras foram trilhadas, pesadas para determinação da produtividade de grãos, a qual ajustada para 13% de umidade.

Os dados foram verificados quanto a normalidade pelo teste de Shapiro –Wilk, e posteriormente submetidos a análise de variância (ANOVA) usando o software estatístico Rbio. Os efeitos das subdoses e interações foram testados por modelos de regressão lineares e não lineares. Os gráficos foram construídos com auxílio do software SigmaPlot versão 10.0.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os estágios de aplicação e subdoses de imazamox para todas as variáveis avaliadas em ambos locais, exceto para espigas m⁻² para FW.

A fitotoxicidade do trigo em CA causada pelo incremento das subdoses de imazamox aumentou exponencialmente, com excessão do estágio de alongamento do colmo aos 14 DAA. Nessa avaliação, os sintomas de fitotoxicidade de imazamox foram mais pronunciados quando aplicados no estágio de perfilhamento, e na maior subdose testada (24,3 g i.a. ha⁻¹) (Figura 1A). Nas subdoses menores que 8,1 g i.a. ha⁻¹ e no estágio de alongamento do colmo os sintomas causados por imazamox foram mínimos (<10%). Aos 21 DAA, verifica-se um ligeiro aumento nos sintomas quando aplicados a subdose de 8,1 g i.a. ha⁻¹, porém a fitotoxicidade foi mais pronunciada na maior subdoses para ambos estágios de aplicação (Figura 1B).

De acordo com Shaner *et al.* (2019), os herbicidas do grupo das imidazolinonas atuam em estágios iniciais das plântulas e são capazes de se translocar para os tecidos jovens, onde esses aminoácidos de cadeia ramificada são sintetizados. O imazamox transloca-se pela planta, acumulando-se nas zonas de crescimento, levando as plantas a paralização do crescimento e à morte num período de 4 a 6 semanas (BASF, 2020).

Em FW, a fitotoxicidade aumentou de forma linear com incremento das subdoses de herbicida, para ambos estágios de aplicação, exceto aos 14 DAA com aplicação no perfilhamento, no qual apresentou efeito exponencial (Figura 1C). Subdoses de até 4,05 g i.a. ha⁻¹ de imazamox não causaram sintomas visíveis ao trigo, e sintomas leves até a subdose de 8,1 g i.a. ha⁻¹, entretanto sem diferenças entre os estágios de aplicação. Apenas na maior subdose testada, houve diferenças na fitotoxicidade entre os estágios de aplicação, sendo que no perfilhamento a fitotoxicidade foi 23 pontos percentuais em relação ao estágio de alongamento de colmo aos 28 DAA (Figura 1D).

Em FW, os sintomas ocasionados pelas subdoses de imazamox foram menores em relação ao estudo em CA, isto pode ser devido as diferenças entre cultivares e maior

temperatura média em FW durante a condução do experimento (Tabela 2). As diferenças na suscetibilidade entre cultivares podem estar ligada ao genoma D que pode fornecer mais enzima ALS comparado com outros genomas (Hanson *et al.*, 2006), assim como temperaturas elevadas aumentam a tolerância das culturas pelo aumento da taxa de detoxificação (McCullough; Hart 2006). Esse comportamento de tolerância em relação e temperatura pode ser observado para iodosulfuron em *Avena sativa*, no qual a tolerância da planta foi reduzida com o herbicida foi aplicado em temperatura baixa (Vidal *et al.*, 2017).

De forma geral, os sintomas de imazamox foram mínimos (<15%) quando aplicados até a subdose de até 8,1 g i.a. ha⁻¹ em qualquer estágio de desenvolvimento. Porém, na subdose de 24,1 g i.a. ha⁻¹ a fitotoxicidade variou entre 24 e 50%, sendo mais pronunciados quando aplicados em estágios mais precoces da cultura do trigo. Esses resultados são similares aos encontrados por Deeds *et al.* (2006) em trigo, entretanto com fitotoxicidade variando entre 33 e 98% na subdose de 11,55 g i.a. ha⁻¹, sendo menores danos no florescimento comparado com estágios de alongação do colmo. Em arroz, subdoses de de imazamox de até 5,5 g i.a. ha⁻¹, causaram maiores injúrias quando as plantas de arroz estavam com um perfilho ou no emborrachamento comparado com a maturação fisiológica ou na diferenciação da panícula (Webster *et al.*, 2016) com fitotoxicidade variando entre 20 a 26%.

As imidazolinonas são absorvidas através das folhas, podendo ser absorvido em menor grau via radicular. A paralização do crescimento e a morte pode ser observada um período de quatro a seis semanas (Senseman, 2007), no entanto no presente estudo com três semanas já observou-se fitotoxicidade nas maiores subdoses testadas.

Dentre as explicações para a fitotoxicidade ocasionada por imazamox é que esse herbicida em plantas suscetíveis causa a paralisação do crescimento, desenvolvimento

de clorose internerval nas folhas jovens e necrose nos meristemas apicais. Dessa forma, as folhas podem emergir apresentando manchas e má formação (Tan *et al.*, 2005). Os sintomas visuais de deriva do imazamox foi maior quando o herbicida foi aplicado nos estágios perfilhamento em relação de quando foi aplicado em alongamento do colmo, nas maiores doses testadas de imazamox. Em trabalho conduzido com subdoses de imazamox, o trigo foi mais prejudicado quando aplicado as subdoses no estágio inicial do que quando foi aplicado no estágio de floração (Deeds *et al.*, 2006).

A resposta da produtividade do trigo em relação ao incremento de imazamox em CA, se manteve estável até a subdose de 8,1 g i.a. ha⁻¹, com diferenças mínimas entre os estágios de aplicação (Figura 2A). A partir de 8,1 i.a. ha⁻¹, a produtividade foi afetada drasticamente na subdose de 24,3 g i.a. ha⁻¹ com redução estimada em 74 e 67% quando aplicado no estágio de perfilhamento e alongamento do colmo, respectivamente.

O estágio de aplicação das subdoses de imazamox não influenciaram na resposta do número de espigas no experimento de FW, com redução de 37% para a maior subdose de imazamox aplicada (Figura 2B). As subdoses de imazamox causaram maiores danos à produtividade do trigo quando aplicados no estágio de alongação do colmo, com declínio a partir de 2,7 g i.a. ha⁻¹ (Figura 2C). A perda estimada na produtividade na subdose de 8,1 g i.a. ha⁻¹ foi de 85%, enquanto que na subdose de 24,3 g i.a. ha⁻¹ de imazamox a perda foi de 100%. Para a aplicação no estágio do perfilhamento, a produtividade manteve-se constante até a subdose de 4,05 g i.a. ha⁻¹, e posterior declínio com perda máxima estimada de 78%.

A redução estimada das subdoses de imazamox para aplicação no perfilhamento foram similares entre os experimentos conduzidos em CA e FW, 74 e 78%, respectivamente. Porém, maiores diferenças foram observados quando o herbicida foi aplicado no estágio de alongamento do colmo, no qual no experimento de FW as perdas

significativas foram observadas na subdoses de 8,1 g i.a. ha⁻¹ de imazamox, que representa 8,9% da dose recomendada do herbicida para trigo Clearfield. Essas diferenças podem ser devido as diferenças na suscetibilidade entre cultivares e condições climáticas durante o ciclo da cultura. Outros fatores como tratamentos de sementes com inseticidas podem reduzir o danos por deriva de herbicidas e assegurar a produtividade (Martin *et al.*, 2018). Esses resultados são similares aos encontrados por Deeds *et al.*, (2006), os quais reportam que a redução de produtividade de até 90% causada por deriva de imazamox, e que essa redução varia entre locais e anos. Similarmente, Webster *et al* (2016) verificaram que imazamox (5,5 g i.a. ha⁻¹) reduziu em até 66% a produtividade em arroz.

A disponibilidade de cultivares resistentes ao herbicida imazamox adaptadas às condições locais, juntamente com a adoção de práticas sustentáveis de manejo de plantas daninhas, proporcionariam flexibilidade na rotação ou alternância herbicidas. No entanto, cuidados na utilização desta tecnologia devem ser observados, como aplicação em condições que evitem a deriva do herbicida para lavouras de trigo não Clearfield e lavagem adequada do tanque de pulverização.

4.5 CONCLUSÃO

A simulação de deriva por imazamox resulta em maiores sintomas de fitotoxicidade quando aplicado no estágio de perfilhamento, principalmente nas subdoses do herbicida acima de 8,9% da dose recomendada. Embora os sintomas por imazamox sejam menores com aplicação no alongamento do colmo, o potencial de dano à produtividade é maior.

4.6 REFERÊNCIAS

Basf: Herbicida Raptor. Disponível em: <https://agriculture.basf.com/br/pt/protecao-de-cultivos-e-sementes/produtos/raptor-70-dg.html> . Acesso em 21 de janeiro de 2021.

Bond JA, Griffin JL, Ellis JM, Linscombe SD & Williams BJ (2006) Corn and rice response to simulated drift of imazethapyr plus imazapyr. *Weed Technology*, 20(1): 113–17.

Conab. Companhia Nacional de Abastecimento (2020) Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 5– Safra 2020, n. 5- Segundo levantamento, Brasília, p. 1-75.

Dal Magro T, Agostinetto D, Pinto JJO, Galon L & Rezende AL (2006) Efeito de deriva simulada de herbicida inibidor de ALS nos componentes da produtividade do arroz irrigado. *Planta Daninha*, 24(4): 805-812.

Deeds ZA, Al-khatib K, Peterson DE & Stahlman PW (2006) Wheat response to simulated drift of glyphosate and imazamox applied at two growth stages. *Weed Technology*, 20 (1):23–31.

Hanson BD, Shaner DL, Westra P & Nissen SJ (2006) Response of selected hard red wheat lines to imazamox as affected by number and location of resistance genes, parental background, and growth habit. *Crop Science*, 46:206–1211.

Martin SM, Norsworthy JK, Scott RC, Hardke J, Lorenz GM & Gbur E (2018) Insecticide seed treatments partially safen rice to low rates of glyphosate and imazethapyr, *Weed Technology*. 32:520–525.

Mccullough PE & Hart SE (2006) Temperature influences creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*) and annual bluegrass (*Poa annua*) response to bispyribac-sodium. *Weed Technology*, 20:728-732.

Nakkaa S, Jugulamb M, Peterson BD & Asif M (2019) Herbicide resistance: Development of wheat production systems and current status of resistant weeds in wheat cropping systems. *The Crop Journal*, 7:750 – 760.

Oliveira Neto AM, Constantin J, Oliveira JR, Guerra N, Braz GBP, Vilela LMS, Botelho LVP & Ávila LA (2013) Sistemas de dessecação em áreas de trigo no inverno e atividade residual de herbicidas na soja. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 12(1):14-22.

Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (12. : 2018 : Passo Fundo, RS). Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2019 / XII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. 240 p. ISBN 978-85-7035-866-0

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Cunha TJF, Oliveira, JB (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 353 p.

Scursoni JA, Montoya JC, Vigna MR, Gigón R & Istilart C (2017) Impact of Imazamox and imazapyr carryover on wheat, barley, and oat. *Weed Technology*, 31(6):838– 846.

Senseman SA (2007) *Herbicide handbook*. Weed Science Society of America, 9 ed, 458p.

Shaner DL, Stidham M, Singh B & Tan S (2019) Imidazolinones herbicides. In: Peter Y, Jeschke P, Witschel M, Krämer W, Schirmer U, editors, *Modern Crop Protection Compounds*. 3rd ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. p. 95–106.

Silveira HM, Silva DV, Santos JB, Castro Neto MD, Ferreira EA, Carvalho FP, Silva AA & Sedyama T (2012) Sensibilidade de cultivares de mandioca ao herbicida mesotrione. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 11(1): 24-31.

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

Tan S, Evans RR, Dahmer ML, Singh BK & Shaner DL (2005) Imidazolinonetolerant crops: history, current status and future. *Pest Management Science*, 61(3): 246–257.

Vidal RA, Fipke MV, Queiroz ARS, Soares DS & Gherekhloo J (2017) An innovative method to evaluate the impact of temperature on iodosulfuron-methyl selectivity to oat crop. *Planta Daninha*, 35:e017164719.

Webster EP, Hensley JB, Blouin DC, Harrell DL & Bond JA (2016) Resposta da cultura do arroz à deriva simulada do Imazamox. *Weed Technology*, 30(01):99-105.

Tabela 1: Características físico-químicas do solo em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA):

Local	Argila ¹	pH	MO ¹	P ²	K ²	Ca ²	Mg ²	CTC ³	SB ¹
FW	56	5,9	4,0	4,5	332	7,44	3,51	14,3	82,4
CA	55	4,7	4,3	9,1	125	2,6	0,8	13,3	28

¹ (%); ² mg dm⁻³; ³ cmolc dm⁻³

Tabela 2: Precipitação mensal (mm) e temperaturas médias (°C) durante a condução dos experimentos em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA) na safra 2019

Mês	FW	CA	FW	CA
	mm		°C	
Maio	327	305	17,9	16,8
Junho	90	62	18,3	16,3
Julho	119	129	18,1	12,0
Agosto	68	17	16,4	12,8
Setembro	133	96	19,9	16,8
Novembro	227	128	22,3	20,8
Total / média	964	737	18,8	15,9

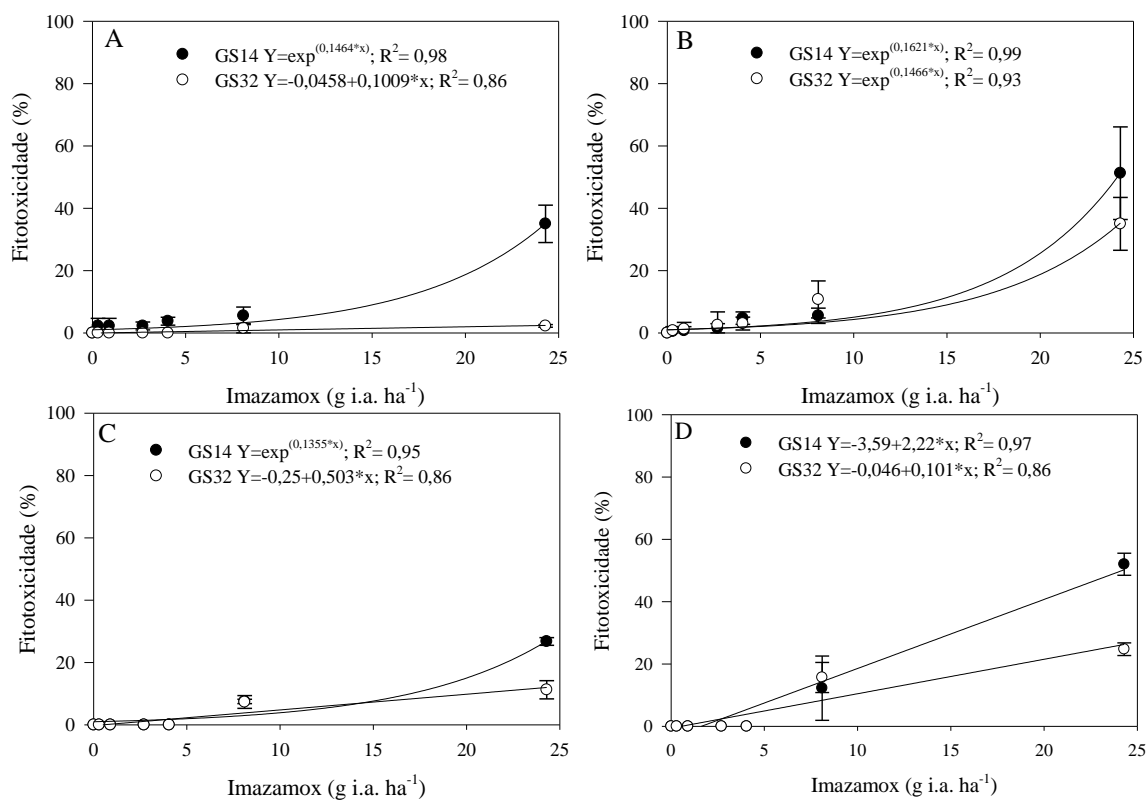


Figura 1: Fitotoxicidade aos 14 DAA (A e C) e 28 DAA (B e D) de subdoses de imazamox aplicados nos estágios de perfilhamento (GS 14 - 4ª folha desenrolada) e alongação do colmo (GS 32 - 2º nó detectável) em Cruz Alta (A e B) e Frederico Westphalen (C e D). barras verticais indicam intervalo de confiança a 95%.

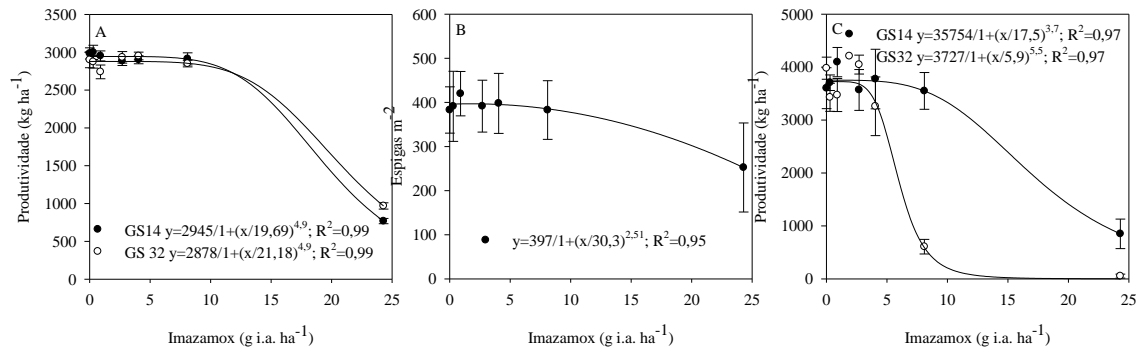


Figura 2: Produtividade (A e C) e número de espiga (B) em função de subdoses de imazamox aplicados nos estágios de perfilhamento (GS 14 - 4^a folha desenrolada) e alongação do colmo (GS 32 - 2^o nó detectável) em Cruz Alta (A) e Frederico Westphalen (B e C). Barras verticais indicam intervalo de confiança a 95%.

5 DISCUSSÃO GERAL

No trabalho desenvolvido com deriva simulada de glyphosate em associação com trinexapac ethyl (TE), com os cultivares TBIO Audaz e ORS Citrino (Capítulo I), pode-se considerar que, de modo geral, as subdoses de glyphosate maiores de 36 g ha⁻¹, ocasionaram algum evento fitotóxico à cultura, bem como redução de estatura e produtividade para ambos os cultivares de trigo.

Os resultados de fitotoxicidade são maiores quando associados a TE, autores relatam que a aplicação do redutor de crescimento tem maior efeito em anos mais chuvosos (Matysiak, 2006). Não sendo recomendado aplicar TE quando a planta estiver com deficiência hídrica na fase inicial de seu desenvolvimento (Fronza et al., 2008). O trinexapac-ethyl, atua com maiores efeitos na redução do porte das plantas entre 14 a 21 dias após a aplicação (Fagerness & Penner, 1998). Dessa forma, demonstrando o efeito do TE, na redução de estatura de planta ao longo do seu ciclo, colaborando com os resultados observados neste experimento, Zagonel & Fernandes (2007), observaram que, dependendo do momento da aplicação do trinexapac-ethyl, os cultivares de trigo respondem de forma diferenciada, apresentando, na maioria das situações, uma redução da estatura de plantas de acordo com o incremento das doses.

De forma geral, o aumento das subdoses de glyphosate reduziram o acúmulo de MS, no entanto o uso do TE minizou os efeitos do glyphosate para ambos os cultivares. Por exemplo, para Audaz não foi verificado redução significativa até 20 g ha⁻¹, enquanto que para Citrino foi estimado incremento de até 8,4% na subdose de 24 g ha⁻¹

No trabalho desenvolvido com deriva simulada de imazamox, aplicados em diferentes estágios fenológicos do trigo (Capítulo II), pode-se considerar que, de modo geral, as subdoses de imazamox maiores de 8,1 g h⁻¹, ocasionaram fitotoxicidade para a cultura, bem como redução do número de espigas por m² e produtividade para ambos os ambientes testados.

O desenvolvimento de produtos para auxiliar nas tecnologias de aplicação, para redução de deriva, e melhores condições de calda, são ferramentas para reduzir eventuais riscos em plantas suscetíveis à herbicidas. Além do uso de adjuvantes, a escolha correta de pontas de pulverização, pressão de trabalho e equipamentos de aplicação são fatores que auxiliam na redução da quantidade de deriva (HILZ & VERMEER, 2013), de modo geral, as pontas são determinantes para a qualidade,

segurança da pulverização e diminuição da deriva, pois são responsáveis pela fragmentação da solução de aplicação e formação das gotas (FERREIRA et al., 2011).

Sabe-se que os adjuvantes são quaisquer substância ou compostos sem função fitossanitária. Os adjuvantes devem ser acrescidos na calda de pulverização com objetivo de facilitar a aplicação, aumentar a eficácia ou diminuir o risco de contaminação humana e ambiental por deriva. Dessa forma os adjuvantes estão entre as tecnologias que podem influenciar na deriva de herbicidas, fatores como tamanho das gotas que são determinantes para a deriva.

Trabalhos realizados por Costa et al. (2008) verificaram aumento no tamanho das gotas e redução de deriva em condições controladas, com adição de óleo vegetal a 1% (v v⁻¹) na mistura de 2,4-D com glyphosate. Já em outro trabalho, Costa et al. (2014), observaram menor deriva de 2,4-D + glyphosate, devido à adição de óleo mineral e um espalhante adesivo a base de silicone. Concluindo que a seleção adequada de adjuvantes pode ser utilizada como estratégia para redução do risco de deriva dessa mistura de herbicidas. Johnson et al. (2006) também observaram diminuição de deriva de glyphosate com a adição de um adjuvante antideriva. Sendo assim, os autores mencionam a importância das diferenças entre as formulações, pois adjuvantes também são utilizados para constituir os agrotóxicos comercializados, o que poderia explicar a atenuação do efeito desses dois produtos na presença dos herbicidas.

Desta forma, os resultados indicam a necessidade de adoção de práticas de manejo, que visem a redução seja de deriva, quanto de contaminação ou resíduos no tanque de pulverização para ambos os herbicidas testados. A limpeza de tanque de pulverização, o preparo da calda, uso adequado ao guardar partes dos produtos químicos nas suas respectivas embalagens de origem, a utilização de adjuvantes, bem como conhecer, analisar questões climáticas, são práticas eficazes para evitar deriva ou contaminação ocasionada por herbicidas, que afetam a cultura de trigo de forma negativa, quando e quanto as subdoses podem provocar redução de produtividade e divergências fisiológicas na cultura. Consequentemente, se requer conhecimento, e informações ao se utilizar uma tecnologia Clearfield, ou até mesmo no preparo da calda e limpeza de pulverizador e aplicação de campo de herbicidas em áreas adjacentes a cultura suscetível.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos permitem concluir que, de maneira geral, as cultivares de trigo TBIO Audaz e ORS Citrino, ambos apresentam redução em produtividade e diferenças em relação a sua testemunha, quando submetidos a subdoses de glyphosate.

A utilização de TE e subdoses de glyphosate interferiram nos parâmetros de estatura, fitotoxicidade, matéria seca e produtividade nos cultivares de trigo avaliados. O uso de TE associado com subdoses de glyphosate, a fitotoxicidade se torna mais significativa, principalmente nas maiores subdoses de glyphosate.

No acúmulo de matéria seca, Audaz apresentou maior redução de acúmulo, com o aumento de subdoses de glyphosate. Os cultivares de trigo apresentaram redução na produtividade com o uso de TE, e com o aumento das subdoses de glyphosate.

A derivade imazamox em trigo não Clearfield, são mais significativas para doses superiores a $8,1 \text{ g ha}^{-1}$ de imazamox, para ambos os locais e estágios de aplicação, apresentando maior redução do potencial produtivo quando aplicado em estágio mais avançado da cultura (alongamento). A fitotoxicidade foi mais significativa para as maiores subdoses testadas, tanto aos 14, 21, e 28 dias após a aplicação, para ambos os ambientes avaliados. O maior grau de injúria foi quando aplicado no estágio de perfilhamento, nas maiores doses testadas.

Houve redução do número final de espigas por m^2 , na maior subdose de imazamox. Subdoses de imazamox, ocasionadas por contaminação de tanque ou deriva, quando aplicados em nos estágios de perfilhamento ou alongamento de colmo, geram danos significativos na produtividade de cultivares de trigo não Clearfield.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, G. S., VIEIRA, B. C., YNFANTE, R. S., SANTANA, T. M., MORAES, J. G., GOLUS, J. A., & KRUGER, G. R.; Tank contamination and simulated drift effects of dicamba-containing formulations on soybean cultivars. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1), doi:10.1002/agg2.20065, 2020.

ANASTASINI, V.; DEPETRIS, M. B.; OCHOGAVÍA, A. C.; NESTARES, G.; BRECCIA, G. An integrated approach for the characterization of one- and two-gene imazamox-resistant wheat lines. *Crop Science*, v. 21, 2020.

ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação: Conceitos básicos, inovações e tendências. In: TOMQUELSKI, G. V. et al. (Eds.). **Publicações Fundação Chapadão: Soja e Milho 2011/2012**. 5. ed. Chapadão do Sul: Fundação Chapadão. cap. 16, p. 113-139, 2012.

BASF: **Herbicida Raptor**. Disponível em : <https://agriculture.basf.com/br/pt/protecao-de-cultivos-e-sementes/produtos/raptor-70-dg.html> . Acesso em 21 de janeiro de 2021.

BEVILACQUA, G. H. **Desempenho agrônômico de cultivares de trigo em diferentes datas de semeio em condições de alta temperatura**. 2019. 42p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). UNESP, Jaboticabal, 2019.

BOLLER, W.; SCHLOSSER, J. F. Consideraciones operativas de lãs boquillas pulverizadoras. In: MAGDALENA, J. C. et al. **Tecnología de aplicación de agroquímicos**. Rio Negro: CYTED, p. 89-96, 2010.

CHAVARRIA, G.; ROSA, W. P. DA; HOFFMANN, L.; DURIGON, M. R. Regulador de crescimento em plantas de trigo: reflexos sobre o desenvolvimento vegetativo, rendimento e qualidade de grãos. *Revista Ceres*, v. 62, n.6, p. 583-588, 2015.

CONAB. Companhia Nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 5– Safra 2020, n. 5- Segundo levantamento, Brasília, p. 1-75, 2020.

CORREIA, N.M.; SOUZA, I.F.; KLINK, U.P. Palha de sorgo associada ao herbicida imazamox no controle de plantas daninhas na cultura da soja em sucessão. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 483-489, 2005.

COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.

COSTA, A.G.F. et al. Determinação da deriva de 2,4-D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes. In: CONGRESO de la ASOCIACIÓN LATINO-AMERICANA DE MALEZAS, 28., 2008, Ouro Preto, MG. **Anais...** Sete Lagoas: SBPCPD / Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 1 CD.

COSTA, A.G.F.; VELINI, E.D.; ROSSI, C.V.S.; CORRÊA, M.R.; NEGRISOLI, E.; FIORINI, M.V.; SIONO, L. M. Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições de campo. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.387-392, 2014.

COSTA, N. V.; MARTINS, D.; RODELLA, R.A.; RODRIGUES, A.C.P.; CARDOSO, L.A. Efeito do trinexapac-ethyl na anatomia foliar de quatro espécies de grama. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 551-560, 2010.

DE MORI, C; IGNACSAK, J.C. Aspectos economicos do complexo agroindustrial do trigo. In: PIRES, J.L.F; VARGAS, L; CUNHA, G.R da. Trigo no Brasil: Bases para a produção competitiva e sustentavel. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. P.41-76.

DUGGLEBY R.G.; MCCOURT, J.; GUDDAT L.W. Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiol Biochem**, n. 46, p.309-324. 2008.

FAOSTAT. **Grain: World Markets and Trade**, December, 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 28 dez. 2020

FELISBERTO, P. A. DE C.; TIMOSSO, P. C.; FELISBERTO, G.; RAMOS, A.R. Subdoses de glyphosate não reduzem a produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.3, p.290-296, jul./set. 2016.

FERREIRA, J.P; XAVIER, E.P; SILVA, R.B; DAL BEM, E.A; SOUZA, F.M.L; SABUNDJIAN, M.T; GARCIA, D.P. Efeito de doses de trinexapac-ethyl em trigo cultivar TBIO sinuelo. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 11, n.5, p. 21-26, 2017.

FERREIRA, M.C.; LOHMANN, T.R.; CAMPOS, A.P.; VIEL, S.R.; FIGUEIREDO, A. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.697-705, 2011.

FIETSAM, J. F. W.; YOUNG, B. G.; STEFFEN, R. W. Herbicide drift reduction to drift control agents with glyphosate. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v. 47, n. 5, p. 1405-1¹411, 2004.

FIGUEREDO, S.S.; LOECK, A.E.; ROSENTHAL, M.D.; AGOSTINETTO, D.; FONTANA, L.C.; RIGOLI, R.P. Influência de doses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.25, n. 3, p. 849-857, 2007.

GALLI, A. J. B. A molécula glyphosate e a agricultura brasileira. In: VELINI, E. D.; MESCHÉDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. Botucatu: Fepaf, cap. 2, p. 17-1¹9, 2009.

GANDOLFO, M. A.; GANDOLFO, U.D. Como evitar a deriva na pulverização. **Revista Cultivar máquinas**. Ed. 164, julho, 2016.

GODINHO JÚNIOR, J. DE D.; VIEIRA, L. C.; PEREIRA, L. O. A.; RUAS, R. A. A.; FARIA, V. R.; FILHO, A. C. Deriva do herbicida 2,4-d aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.4, p.550-554, 2017.

GONDIM, T. C. O.; ROCHA, V. S.; SEDIYAMA, C. S.; MIRANDA G. V. Análise de trilha para componentes do rendimento e caracteres agronômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.4, p.487-493, 2008.

HECKMAN, N. L.; ELTHON, T. E.; HORST, G. L.; GAUSSOIN R. E. Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, n. 42, p. 423-427, 2002.

HESS, F. D. **Mechanism of action of inhibitors of amino acid biosynthesis**. In: Herbicide action: an intensive course on the activity, selectivity, behavior, and fate of herbicides in plants and soil. West Lafayette: Purdue University, 1994. p. 344-365.

HILZ, E.; VERMEER, A. W. P. Spray Drift Review: The Extent to Which a Formulation Can Contribute to Spray Drift Reduction. **Crop Protection**, v. 44, p. 75-83, 2013.

JABRAN, K.; MAHMOOD, K.; MELANDER, B.; BAJWA A. A.; KUDSK P. Weed dynamics and management in wheat. **Advances in Agronomy**, n. 145, p. 97-166, 2017.

JOHNSON, A. K.; ROETH, F. W.; MARTIN, A. R.; KLEIN, R. N. Glyphosate spray drift management with drift reducing nozzles and adjuvants. **Weed Technology**, v.20, p.893-897, 2006.

KARAM, D.; OLIVEIRA, M. F. **Seletividade de herbicidas na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. p. 8, 2007. (Circular Técnica, 98).

KELLEY, K. B., WAX, L. M., HAGER, A. G., & RIECHERS, D. E. (2005). Soybean response to plant growth regulator herbicides is affected by other postemergence herbicides. **Weed Science**, **53**, 101-112. <https://doi.org/10.1614/WS-04-078R>

KOGER, C. H.; SHANER, D. L.; KRUTZ L. J.; WALKER, T. W.; BUEHRING, N.; HENRY, W. B.; THOMAS W. E.; WILCUT J. W. Rice (*Oryza sativa*) response to drift rates of glyphosate. **Pest Management Science**, n.61, p. 1161-1167, 2005.

LAMEGO, F. P.; RUCHEL, Q.; KASPARY, T. E.; GALLON, M.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L. Habilidade competitiva de cultivares de trigo com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 521-531, 2013.

LANGARO, A. C.; NOHATTO, M. A.; PERBONI, L. T.; TAROUÇO, C. P.; AGOSTINETTO, D. Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.13, n.1, p.40-46, 2014.

MAGALHÃES, P. C.; SILVA, J. B.; DURÃES, F. O. M.; KARAM, D.; RIBEIRO, L. S. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do sorgo. **Planta Daninha**, v.19, n.2, p.255-262, 2001.

MARCO JUNIOR, J.DE; CORREA, D.; NAKAI, E. H. Efeito do regulador de crescimento trinexapac-ethyl na produtividade de trigo. **Acta Iguazu**, v.2, n.1, p. 14-19, 2013.

MARTINS, L.M. **Epocas de aplicação de reguladores de crescimento e de sombreamento artificial afetando cultivares de trigo**. 2012, 49f. Dissertação de Mestrado (Agricultura). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2012.

MILLER, P.C.H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G.A.; HISLOP, E. C. **Application technology for crop protection**. Wallingford: CAB International, 1993. p.101-1-122.

NAKAYAMA, I.; KAMIYA, Y.; KOBAYASHI, M.; ABE H.; SAKURAI, A. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione, on the biosynthesis of gibberellins in cell-free systems derived from immature seeds. **Plant Cell Physiology**, n. 31, p.1183-1190, 1990.

OLIVEIRA NETO, A. M. DE; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR, R.S.; GUERRA, N.; BRAZ, G.B.P.; VILELA, L. M.S.; BOTELHO, L. V.P.; ÁVILA, L.A. Sistemas de dessecação em áreas de trigo no inverno e atividade residual de herbicidas na soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.1, p.14-22, 2013.

OLIVEIRA, G.M.P.de. **Potencial de deriva e injúria de herbicidas pulverizados em túnel de vento**. 2018, 38 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, 2018.

PAULA, J.M.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M.A. Manejo de *conyza bonariensis* resistente ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 29, n. 1, p. 217-227, 2011.

PITELLI, R. A. Competição e controle de plantas daninhas em áreas agrícolas. Piracicaba: **Série Técnica IPEF**, v. 4, n.12, p. 1-25. 1987.

RADEMACHER, W. Growth retardants: Effects on gibberellin bioproduction synthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, p.575-581, 2000.

REDDY, K.N.; BELLALLOUI, N.; ZABLOTOWICZ R.M. Glyphosate Effect on Shikimate, Nitrate Reductase Activity, Yield, and Seed Composition in Corn. **J. Agric. Food Chem.**, n.58, p.3646–3650, 2010.

RESENDE, P.A.P; SOARES, J.E.; HUDETZ, M. Moddus, a plant growth regulator and management tool for sugarcane production in Brasil. **International Sugar Journal**, v.103, n.1225, p.2-6, 2001.

RIGOLI, R.P.; AGOSTINETTO, D.; VAZ DA SILVA, J.M.B.; FONTANA, L.C.; VARGAS, L. Potencial competitivo de cultivares de trigo em função do tempo de emergência. **Planta daninha**, v.27, n.1, 2009.

- RODRIGUES, J. D. Absorção e transporte de solutos nas plantas. In: VELINI, E. D.; MESCHEDÉ, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. Botucatu: Fepaf, cap. 4, p. 31-1¹², 2009.
- SCHWERZ, L.; DELLAI, A.; KOPPE, E.; NARDINO, M.; SILVA, V. R.DA. Uso de regulador de crescimento na cultura de trigo (*triticum aestivum* l.) sob diferentes densidades de semeadura. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer**, v.8, n.14, p.927-934, 2012.
- SENSEMAN, S.A. **Herbicide handbook**. Weed Science Society of America, Ninth Edition, 2007, 458p.
- SHANER, D.L.; STIDHAM, M.; SINGH, B.; TAN S. Imidazolinones herbicidas. In: Peter, Y., Jeschke, P., Witschel, M., Krämer, W., and Schirmer, U., editors, **Modern Crop Protection Compounds**. 3rd ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. p. 95–106, 2019.
- SOLTONI, N.; NURSE, E. R. ; SIKKEMA, H. P. ; . Response of glyphosate-resistant soybean to dicamba spray tank contamination during vegetative and reproductive growth stages. *Canadian Journal of Plant Science*. **96**(1): 160-1¹⁶⁴; doi:10.1139/cjps-2015-0175, 2016.
- TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3^a ed. Porto Alegre, Artmed. 719p. 2004.
- TAN, S.; EVANS, R.R.; DAHMER, M.L.; SINGH B.K.; SHANER, D.L. Imidazolinonetolerant crops: history, current status and future. **Pest Management Science**, v.61, n.3, p. 246–257, 2005.
- VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; FREITAS, F.C.L.; QUIRINO, A.L.S.; SANTOS, M.V. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1¹JC e SR-1¹. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.211-218, 2007.
- YAMASHITA, O.M.; GUIMARÃES, S.C. Deriva simulada de glyphosate em algodoeiro: efeito de dose, cultivar e estágio de desenvolvimento. **Planta Daninha**, v.24, n.4, p.821-826, 2006.
- ZAGONEL, J. ;FERNANDES, E.C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, v. 25, p.331-339, 2007.
- ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, v.32, n.1, p. 25-29, 2002.

8. ANEXOS :

CAPITULO I:

Tabela 1: Resumo da análise da variância e valores de F para as variáveis fitotoxicidade aos 14 e 28 DAA (F14 e F28), estatura 14 e 28 DAA (E14 e E28), matéria seca aos 28 DAA (MS28), estatura pré colheita (Epc), produtividade (P):

FV	F14	F28	E14	E28	MS28	Epc	P
Cultivar (C)	0,903	<0,001	0,0107	0,0878	<0,001	<0,001	<0,001
Trinexapac ethyl (TE)	0,335	0,752	<0,001	<0,001	0,234	<0,001	<0,001
C x TE	0,094	0,0865	0,981	0,881	0,557	0,899	0,0735
Glyphosate (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C x G	<0,001	<0,001	0,519	0,133	<0,001	<0,001	<0,001
TE x G	0,738	0,088	0,469	0,170	0,361	<0,001	0,419
C x TE x G	0,782	0,077	<0,001	0,353	<0,001	0,993	0,332

CAPITULO II:

Tabela 2: Resumo da análise da variância e valores de F para as variáveis fitotoxicidade aos 14 e 28 DAA (F14 e F28) e produtividade (P) para o local Cruz Alta-RS, e para Frederico Westsphalem-RS 14,21,28 DAA (F14*, F21* e F28*), espigas final por m² (EM^{2*}) e produtividade (P*):

Fonte de Variação	Cruz Alta/RS			Frederico Wetsphalem/RS				
	F14	F21	P	F14*	F21*	F28*	EM^{2*}	P*
Estádios (ET)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0675.	<0,001
Subdoses de Imazamox (SI)	<0,001	<0,001	0,474	0,0852.	0,044*	<0,001	0,0210*	0,544
ET x SI	<0,001							
SI	<0,001	0,291	0,642	<0,001	<0,001	<0,001	0,0949.	<0,001
ET x SI	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1025	<0,001