

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE AGRONOMIA

LUIS GABRIEL ZONIN

**EFEITO DE HERBICIDAS E DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS NA
MORFOFISIOLOGIA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO**

ERECHIM

2024

LUIS GABRIEL ZONIN

**EFEITO DE HERBICIDAS E DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS NA
MORFOFISIOLOGIA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. D. Sc. Leandro Galon

ERECHIM

2024

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Zonin, Luis Gabriel

EFEITO DE HERBICIDAS E DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS
DANINHAS NA MORFOFISIOLOGIA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NA
CULTURA DO MILHO / Luis Gabriel Zonin. -- 2024.

31 f.:il.

Orientador: D. Sc. Leandro Galon

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Erechim,RS, 2024.

1. Zea mays. 2. Interação entre plantas. 3. Respostas
morfofisiológicas. I. Galon, Leandro, orient. II.
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

LUIS GABRIEL ZONIN

**EFEITO DE HERBICIDAS E DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS NA
MORFOFISIOLOGIA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 24/06/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Leandro Galon – UFFS
Orientadora

Prof. Dr. Gismael Francisco Perin – UFFS
Avaliador

Eng. Agrônomo Me. Rodrigo José Tonin – UFFS
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus por ter me dado a vida, pela força de poder viver.

Aos meus pais, por todo o zelo e dedicação que sempre estiveram comigo.

Aos meus amigos, que fiz na vida e durante a faculdade e que me ajudaram nas atividades durante todas as atividades.

Agradeço a todos professores, colegas e profissionais da UFFS, pela ajuda nas atividades.

EFEITO DE HERBICIDAS E DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS NA MORFOFISIOLOGIA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO

RESUMO: O método químico com uso de herbicidas é amplamente empregado como principal estratégia de controle de plantas daninhas infestantes nas lavouras de milho, devido à sua eficácia, praticidade e menor custo ao se comparar com outras alternativas de controle disponíveis. Diante disso, objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito do uso de herbicidas, da competição de plantas daninhas na morfofisiologia e no acúmulo de nutrientes na cultura do milho. Foram instalados dois experimentos nos anos agrícolas 2022/23 e 2023/24, respectivamente, em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos aplicados aos 20 dias após a emergência do milho foram: testemunha capinada, nicosulfuron (60 g ha^{-1}); terbutilazina (1000 g ha^{-1}); mesotrione + atrazine ($120+1200 \text{ g ha}^{-1}$); glyphosate (1335 g ha^{-1}); nicosulfuron+glyphosate ($60+1335 \text{ g ha}^{-1}$); nicosulfuron+terbutilazina ($60+1000 \text{ g ha}^{-1}$); nicosulfuron+mesotrione+atrazine ($60+120+1200 \text{ g ha}^{-1}$); terbutilazina+mesotrione+atrazine ($1000+120+1200 \text{ g ha}^{-1}$); terbutilazina+glyphosate ($1000+1335 \text{ g ha}^{-1}$); mesotrione+atrazine+glyphosate ($120+1200+1335 \text{ g ha}^{-1}$); nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate ($60+1000+1335 \text{ g ha}^{-1}$); mesotrione+atrazine+nicosulfuron+glyphosate ($120+1200+60+1335 \text{ g ha}^{-1}$); nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate ($60+1000+120+1200+1335 \text{ g ha}^{-1}$); milho+papuã; milho+buva; milho+corda-de-viola; milho+caruru; milho+papuã+buva+corda-de-viola+caruru. Aos 7, 14, 21 dias após aplicação dos tratamentos (DAT) avaliou-se a fitotoxicidade dos herbicidas às plantas de milho. As variáveis fisiológicas (concentração interna de CO_2 , taxa de transpiração, condutância estomática, taxa fotossintética e uso eficiente da água e morfológicas área foliar e massa seca da parte aérea) e a concentração dos nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) foram determinadas aos 42 DAT. Os herbicidas, terbutilazina+glyphosate, mesotrione+atrazine+glyphosate, nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate apresentam a maior fitotoxicidade ao serem aplicados no híbrido de milho FS 400 PW. Os tratamentos que denotaram menor desenvolvimento de área foliar e acúmulo de massa seca da parte aérea do híbrido de milho FS 400 PW são a competição do milho+papuã e milho+papuã+buva+corda-de-viola+caruru. A aplicação do nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate ocasiona o menor crescimento em área foliar e acúmulo de massa seca da parte aérea do híbrido de milho FS 400 PW. A competição do

milho com a buva e o caruru e aplicação de nicosulfuron+terbutilazina, terbutilazina+mesotrione+atrazine, nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate e mesotrione+atrazine+nicosulfuron+glyphosate demonstram efeitos negativos às variáveis fisiológicas que foram avaliadas no híbrido de milho FS 400 PW. A maior concentração dos nutrientes nitrogênio e fósforo ocorre no milho sem aplicação de herbicidas e livre da competição de plantas daninhas (testemunha capinada) e no uso de glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate. A aplicação de nicosulfuron+mesotrione+atrazine e de terbutilazina+mesotrione+atrazine demonstram o maior acúmulo de potássio no milho.

Palavras-chave: *Zea mays*, interação entre plantas, respostas morfofisiológicas.

EFFECT OF HERBICIDES AND WEED COMPETITION ON THE MORPHOPHYSIOLOGY AND NUTRIENT ACCUMULATION IN CORN CROP.

ABSTRACT: The chemical method using herbicides is widely used as the main strategy for controlling invasive weeds in corn crops, due to its effectiveness, practicality, and lower cost compared to other available control alternatives. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of the use of herbicides and the competition of weeds on the morphophysiology and nutrient accumulation in the corn crop. Two experiments were installed in the agricultural years 2022/23 and 2023/24, respectively, in a greenhouse, in a randomized block design with four replications. The treatments applied 20 days after corn emergence were: hand-weeded control, nicosulfuron (60g ha^{-1}); terbuthylazine (1000g ha^{-1}); mesotrione+atrazine ($120+1200\text{g ha}^{-1}$); glyphosate (1335g ha^{-1}); nicosulfuron+glyphosate ($60+1335\text{g ha}^{-1}$); nicosulfuron+terbuthylazine ($60+1000\text{g ha}^{-1}$); nicosulfuron+mesotrione+atrazine ($60+120+1200\text{g ha}^{-1}$); terbuthylazine+mesotrione+atrazine ($1000+120+1200\text{g ha}^{-1}$); terbuthylazine+glyphosate ($1000+1335\text{g ha}^{-1}$); mesotrione+atrazine+glyphosate ($120+1200+1335\text{g ha}^{-1}$); nicosulfuron+terbuthylazine+glyphosate ($60+1000+1335\text{g ha}^{-1}$); mesotrione+atrazine+nicosulfuron+glyphosate ($120+1200+60+1335\text{g ha}^{-1}$); nicosulfuron+terbuthylazine+mesotrione+atrazine+glyphosate ($60+1000+120+1200+1335\text{g ha}^{-1}$); corn+alexandergrass; corn+hairy fleabane; corn+morning glory; corn+pigweed; corn+alexandergrass+hairy fleabane+morning glory+pigweed. At 7, 14, and 21 days after treatment application (DAT), the phytotoxicity of the herbicides to the corn plants was evaluated. The physiological variables (internal CO_2 concentration - C_i , transpiration rate - E , stomatal conductance - GS , photosynthetic rate - A , and water use efficiency - WUE) and morphological variables (leaf area and shoot dry mass) and the concentration of nutrients (nitrogen, phosphorus, and potassium) were determined at 42 DAT. The herbicides that showed phytotoxicity to the corn hybrid FS400PW were terbuthylazine + glyphosate, mesotrione+atrazine+glyphosate, nicosulfuron+terbuthylazine+glyphosate, and nicosulfuron+terbuthylazine+mesotrione+atrazine+glyphosate. The application of terbuthylazine showed the highest leaf area accumulation. Corn+alexandergrass, corn+pigweed, and corn+alexandergrass+hairy fleabane+pigweed+morning glory showed lower leaf area. The results show that the application of terbuthylazine showed the highest leaf area accumulation in corn. The best dry mass index was found in the nicosulfuron + terbuthylazine treatment. In results of the competition, corn+alexandergrass, corn+pigweed, and corn+alexandergrass+hairy fleabane+pigweed+morning glory showed lower dry mass accumulation. The application of mesotrione+atrazine+glyphosate and nicosulfuron+terbuthylazine+mesotrione+atrazine+glyphosate showed the best results in physiological parameters (internal CO_2 concentration, transpiration rate, stomatal conductance, photosynthetic rate, and water use efficiency). The nutrient concentrations (nitrogen, phosphorus, and potassium) were determined at 42 DAT (Days After Treatment). The herbicides terbuthylazine+glyphosate, mesotrione+atrazine+glyphosate, nicosulfuron+terbuthylazine+glyphosate, and nicosulfuron+terbuthylazine+mesotrione+atrazine+glyphosate showed the highest phytotoxicity when applied to the corn hybrid FS 400 PW. The treatments that showed the lowest development of leaf area and dry mass accumulation of the aerial part of the corn hybrid FS 400 PW were the competition of corn+foxtail and corn+foxtail+fleabane+morning

glory+pigweed. The application of nicosulfuron+terbutylazine+glyphosate caused the lowest growth in leaf area and dry mass accumulation of the aerial part of the corn hybrid FS 400 PW. The competition of corn with fleabane and pigweed, and the application of nicosulfuron+terbutylazine, terbutylazine+mesotrione+atrazine, nicosulfuron+terbutylazine+glyphosate, and mesotrione+atrazine+nicosulfuron+glyphosate showed negative effects on the physiological variables evaluated in the corn hybrid FS 400 PW. The highest concentrations of nitrogen and phosphorus nutrients occurred in corn without herbicide application and free from weed competition (hand-weeded control), and in the use of the herbicides glyphosate and nicosulfuron+terbutylazine+mesotrione+atrazine+glyphosate in the corn hybrid FS 400 PW. The use of nicosulfuron+mesotrione+atrazine and terbutylazine+mesotrione+atrazine showed the highest accumulation of potassium in the corn.

Keywords: *Zea mays*, plant interaction, morphophysiological responses.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos, doses e adjuvante utilizados no híbrido de milho, nas safras agrícolas de 2022/23 e 23/24. UFFS/Erechim/ RS, 2024. -----	26
Tabela 2 – Condições ambientais no momento da aplicação dos herbicidas em pós-emergência do híbrido de milho. -----	26
Tabela 3 – Fitotoxicidade (%) de herbicidas aplicados em pós-emergência no híbrido de milho -----	27
Tabela 4 – Área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS) do híbrido de milho. -----	28
Tabela 5 – Variáveis fisiológicas, concentração interna de CO ₂ (C _i , μmol mol ⁻¹), condutância estomática (G _S , mol m ⁻² s ⁻¹), taxa transpiratória (E, mol m ⁻² s ⁻¹), taxa fotossintética (A, μmol m ⁻² s ⁻¹), eficiência de carboxilação (EC - mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) e eficiência no uso da água das plantas (EUA - mol mol ⁻¹) em função da aplicação de herbicidas em pós-emergência. -----	29
Tabela 6 – Teores dos nutrientes foliares: nitrogênio - N (dag kg ⁻¹ - %), fósforo - P (dag kg ⁻¹ - %) e potássio – K (dag kg ⁻¹ - %) no híbrido de milho em função da aplicação de herbicidas e competição com plantas daninhas. -----	30

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS	21

INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays*) é uma cultura utilizada na alimentação animal, humana, produção de etanol, dentre outras. A área cultivada com milho no Brasil na safra 2023/24 está estimada em 20618,3 mil hectares, 7,4% inferior ao registrado na safra anterior (CONAB, 2024). A produtividade média de grãos de milho brasileira é de 5414 kg ha⁻¹ (CONAB, 2024), sendo muito inferior às lavouras que usam tecnologia de ponta ou áreas experimentais de pesquisa.

Dentre os fatores responsáveis pela baixa produtividade das lavouras brasileiras destaca-se a interferência ocasionada pelas plantas daninhas. Estas espécies competem com o milho por água, luz, nutrientes, além de serem hospedeiras de insetos e doenças, ou mesmo liberarem substâncias alelopáticas que ocasionam perdas na produtividade de grãos acima até 80% ou mesmo interferem na qualidade dos grãos colhidos se o manejo não for adequado (GALON et al., 2020; ZANDVAKILI et al., 2020; CHU et al., 2022). Assim sendo, o manejo químico inadequado das plantas daninhas pode ser o principal limitante para se alcançar elevadas produtividades (KOEHLER-COLE et al., 2021).

Entre as principais plantas daninhas que infestam o milho destacam-se o papuã (*Urochloa plantaginea*), buva (*Conyza* spp.), corda-de-viola (*Ipomea* spp.) e o caruru (*Amaranthus* spp.). Essas espécies demonstram como principais características, elevada habilidade competitiva, grande produção de propágulos, dormência das sementes, tolerância ou resistência aos principais herbicidas seletivos aos híbridos de milho (RODRIGUES et al., 2019; MELO et al., 2019). As plantas daninhas afetam diretamente a produtividade do milho e interferem até mesmo no sistema de produção utilizado por competirem por água, luz, nutrientes, além de serem hospedeiras de pragas ou liberarem substâncias alelopáticas que interferem no bom desenvolvimento da cultura (NICOLETTI, 2022).

No Rio Grande do Sul, uma das principais plantas daninhas infestantes do milho é o papuã/capim-marmelada (*Urochloa plantaginea*), que apresenta alto potencial competitivo devido sua capacidade de explorar com eficiência os recursos disponíveis no ambiente e diminuir, conseqüentemente, a disponibilidade destes para a cultura, chegando a reduzir em 90% a produtividade de grãos do milho (GALON, et al., 2008). Além disso, estudos recentes relataram efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento de híbridos de milho na presença de baixa densidade de *U. plantaginea* (GALON, et al. 2019; FRANDOLOSO et al. 2019), o que resultou em nível de dano econômico elevado para o milho, necessitando de medidas de controle dessa planta daninha para evitar perdas.

Dentre as plantas daninhas que tem dificultado o manejo quando presente nas lavouras de várias culturas brasileiras, não sendo diferente ao milho são as espécies de buva (*Conyza bonariensis*, *C. canadenses* e *C. sumatrensis*) que apresentam elevada competitividade com a cultura, produzindo grande número de sementes (KASPARY et al., 2017; PIASECKI et al., 2019) e podem reduzir em até 92% a produtividade de grãos quando não controladas adequadamente (FORD et al., 2014). Além disso, essas espécies demonstraram resistência ao glyphosate aumentando assim em até cinco vezes o custo de controle se comparado as sensíveis (VARGAS et al., 2016), além da necessidade de se fazer rotação de mecanismos de ação de herbicidas para se ter controle adequado e evitar prejuízos.

As espécies de corda-de-viola (*Ipomoea* sp.) infestam muitas culturas de interesse agrícola, competem pelos recursos do ambiente (água, luz e nutrientes), interferem negativamente nas colheitas e ainda apresentam tolerância ao herbicida glyphosate (AGOSTINETTO et al., 2016; BARROSO et al., 2019). Essa planta daninha pode emergir a camadas de palha de até 15 t ha⁻¹ e com o crescimento do sistema radicular aumenta a capacidade competitiva com a cultura, diminuindo assim a absorção de nutrientes, causando prejuízos e consequentemente a produtividade (AZANIA et al., 2002; GALON et al., 2021).

O caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) é outra planta daninha que infesta o milho ocasionando perdas de produtividades de grãos de 26 até 66% (SEVERINO et al., 2005). O caruru-roxo é considerada muito agressivo às plantas cultivadas, devido ao seu metabolismo do tipo C4, que lhe confere maior capacidade de fixação de carbono, melhor aproveitamento no uso da água e da luz e produção de biomassa, em relação a plantas com metabolismo C3 (BAYÓN, 2022). Características de rápido crescimento e desenvolvimento, elevada estatura de planta e em condições de estresse hídrico pode reduzir a taxa de expansão foliar, massa seca e a condutância estomática, evitando a desidratação dos tecidos foliares (LIU et al., 2004). Aliado a isso o caruru-roxo na atualidade é resistente aos herbicidas inibidores de EPSPs – enol piruvil shikimato fosfato sintase e ALS - acetolactato sintase (HEAP, 2024) dificultando o controle químico, especialmente com herbicidas pertencentes a esses dois mecanismos de ação.

As perdas ocasionadas pelas plantas daninhas estão associadas à espécie, distribuição, densidade de infestação, híbrido de milho semeado, ao período de convivência, as condições de solo e de clima e às práticas de manejo empregadas pelo produtor (CHU et al., 2022; FRANDOLOSO et al., 2019; ZANDVAKILI et al., 2020). O método químico com o uso de herbicidas se destaca no controle das plantas daninhas no cultivo de milho devido à sua

eficiência, praticidade e menor custo quando comparado a outras formas de controle (CIRIMINNA et al., 2019, ZHOU et al., 2020).

Importante destacar que houve uma evolução importante no uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas com o advento dos híbridos geneticamente resistentes, especialmente ao glyphosate e ao amonio-glufosinate (ISAAA, 2020). O uso dessa tecnologia (OGM) ampliou as possibilidades de controle de plantas daninhas, facilitando o manejo e otimizando a produtividade das culturas. Além disso, novos ingredientes ativos e formulações de herbicidas têm sido constantemente desenvolvidos, com maior eficácia, seletividade e menor impacto ambiental e recomendados para aplicação em milho (AGROFIT, 2024).

A utilização de herbicidas nas culturas pode causar efeitos diretos e indiretos no crescimento e desenvolvimento das plantas, levando a alterações nos processos fisiológicos e metabólicos, como a desregulação dos mecanismos de defesa, intoxicações, oxidação celular e alterações na absorção de nutrientes (ALBRECHT et al., 2014; DREESSEN et al., 2018). Além disso, a aplicação incorreta de herbicidas pode ocasionar impactos negativos nos componentes de rendimento de grãos das culturas, reduzindo a produtividade, bem como não demonstrar eficácia no controle das plantas daninhas e ainda causar impactos negativos nos agroecossistemas (SALOMÃO et al., 2020).

O controle inadequado das plantas daninhas quando presentes nas lavouras infestando as culturas podem ocasionar competição pelos recursos do meio, como macro e micronutrientes. Dentre os nutrientes mais exigidos pelas culturas destacam-se o nitrogênio, fósforo e potássio, sendo que esses interferem significativamente no crescimento e desenvolvimento das plantas e quando há escassez ou falta, normalmente ocorrem elevadas perdas de produtividade ou efeito negativo na qualidade do grão colhido (OSÓRIO et al., 2015).

A hipótese do trabalho é que a competição das plantas daninhas e o efeito de herbicidas interferem nas características morfofisiológicas e nutricionais das plantas de milho. Diante disso, objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito de herbicidas e da competição de plantas daninhas na morfofisiologia e no acúmulo de nutrientes na cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, nos anos agrícolas de 2022/23 e 2023/24. Os

experimentos foram replicados duas vezes, com os mesmos tratamentos e metodologia para avaliar a seletividade de herbicidas e da competição de plantas daninhas à cultura do milho, desse modo se tem maior precisão dos dados gerados.

Nos dois experimentos o delineamento utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos com capacidade de 8 dm³, preenchidos com o solo classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférico típico (STRECK et al., 2018). As características químicas e físicas do solo foram: pH em água= 5,7; MO = 3,7%; P= 14,5 mg dm⁻³; K= 232,3 mg dm⁻³; Al³⁺=0,0 cmolc⁻³ dm⁻³; Ca₂₊= 9,7 cmolc dm⁻³; Mg₂₊= 4,6 cmolc dm⁻³; CTC(t)= 14,9 cmolc dm⁻³; CTC (TpH=7,0) = 21,1 cmolc dm⁻³; H+Al= 6,2 cmolc dm⁻³; SB= 5,7 cmolc dm⁻³; Argila= 53%. Como adubação de base no momento da semeadura usou-se 312,5 kg ha⁻¹ da formulação 8-20-20, N-P-K e em cobertura quando o milho estava no estágio V3 aplicou-se 33 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia (45% de N), seguindo-se as recomendações técnicas à cultura do milho (SBCS, 2016).

Foi semeado 7 sementes do híbrido de milho FS400PW tolerante aos herbicidas glyphosate e amônio-glufosinato. O milho foi infestado pelas plantas daninhas, papuã (*Urochloa plantaginea*), buva (*Conyza bonariensis*), corda-de-viola (*Ipomoea indivisa*) e caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*), conforme Tabela 1.

Após o raleio das espécies deixou-se como densidades 3 plantas por vaso, tanto do milho quanto das plantas daninhas, conforme o tratamento proposto (Tabela 1). Para estabelecer as densidades desejadas em cada tratamento e obter uniformidade das plântulas, as sementes das plantas daninhas foram semeadas em bandejas com substratos e posteriormente transplantadas para os vasos plásticos de acordo com o tratamento proposto.

A irrigação da casa de vegetação foi efetuada de modo automático regulado para que a umidade ficasse em torno de 80% da capacidade de campo. Os herbicidas foram aplicados aos 20 dias após a emergência do milho quando esse estava no estágio V5. Os herbicidas foram aplicados utilizando um pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, equipado com duas pontas de pulverização do tipo leque DG 110.02, sob pressão constante de 2,0 kgf cm⁻² e velocidade de deslocamento em torno de 3,6 km h⁻¹, o que proporciona uma vazão de 150 L ha⁻¹ de calda. As condições ambientais no momento da aplicação dos tratamentos estão dispostas na Tabela 2.

Aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) foi avaliado a fitotoxicidade dos herbicidas ao milho. Para isso foram atribuídas notas percentuais, sendo

zero (0%) aos tratamentos com ausência de fitotoxicidade e cem (100%) para morte das plantas da cultura, de acordo com a metodologia proposta pela SBCPD (1995).

As variáveis fisiológicas foram avaliadas aos 42 dias após a emergência do milho (DAE) ou 21 (DAT), sendo elas, concentração interna de CO_2 (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa fotossintética (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática de vapores de água (G_s - $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), eficiência de carboxilação (EC - $\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e uso eficiente da água (EUA - $\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$). A eficiência da carboxilação e a eficiência do uso da água foram calculadas a partir das variáveis A/C_i e A/E , respectivamente. As variáveis fisiológicas foram determinadas no terço médio da última folha expandida das plantas de milho, usando-se um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK). Cada bloco do experimento foi determinado em um dia, entre 7 e 11 h da manhã, de forma que se mantenham as condições ambientais homogêneas durante as análises.

A área foliar (AF) e a massa seca da parte aérea (MS) das espécies foram aferidas aos 45 DAE. Para a determinação da AF utilizou-se um medidor eletrônico de área foliar (LICOR-3100), quantificando-se a variável em todas as plantas em cada tratamento. Após a determinação da AF as plantas foram acondicionadas em sacos de papel kraft e postas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de $65 \pm 5^\circ\text{C}$ por 48 horas até o material atingir massa constante para aferir-se a MS em balança de precisão.

Para a análise dos nutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) as amostras foliares previamente secas foram moídas em moinho de facas modelo star FT-50 utilizando peneira de malha com de diâmetro 0,5 mm. Os nutrientes foliares do milho foram determinados conforme metodologias propostas por Tedesco et al. (1995).

Os dados foram analisados conjuntamente, ou seja, os dois experimentos foram agrupados visando diluir o efeito da replicação dos resultados experimentais. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e, após a comprovação da normalidade dos erros, realizou-se análise de variância pelo teste F, sendo os resultados significativos, aplicou-se o teste de Scott-Knott. As análises foram realizadas por meio do software Sisvar 5.6 (FERREIRA et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que a aplicação em mistura de tanque dos herbicidas terbutilazina+glyphosate, mesotrione+atrazine+glyphosate,

nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate apresentaram as maiores fitotoxicidades ao milho dos 7 aos 21 DAT (dias após a aplicação dos tratamentos), superiores a todos os demais tratamentos (Tabela 3). De acordo com Basso et al. 2018 ao se aplicar os herbicidas em mistura, glyphosate + mesotrione, encontrou-se fitotoxicidade no milho de 3 a 34%, dos 7 até os 28 DAT, com clorose e albinismo acentuados nas folhas, principalmente nas épocas iniciais de avaliação, porém a cultura, com o passar do tempo, recuperou-se desses danos.

Os herbicidas aplicados em isolado, nicosulfuron, terbutilazina, mesotrione+atrazine, glyphosate e os aplicados em mistura em tanque nicosulfuron+glyphosate, nicosulfuron+terbutilazina, nicosulfuron+mesotrione+atrazine, terbutilazina+mesotrione+atrazine e mesotrione+atrazine+nicosulfuron+glyphosate demonstraram baixos sintomas de fitotoxicidade, inferior a 15% dos 7 aos 21 DAT, sendo que em todas as avaliações igualaram-se estatisticamente todos entre si e a partir dos 14 DAT a testemunha capinada (Tabela 3). Pesquisas têm relatado que índices de fitotoxicidade ocasionados por herbicidas, abaixo de 20% são considerados aceitáveis a leves para a cultura do milho (MAIA et al., 2019; SILVA et al., 2022). O híbrido de milho FS 400 PW usado no presente experimento apresenta resistência, tolerância ou suscetibilidade aos referidos herbicidas aplicados e que apresentaram assim baixa fitotoxicidade, com consequente recuperação dos sintomas de danos, especialmente quando em isolados no tanque do pulverizador.

A aplicação dos herbicidas misturados ao tanque do pulverizador (terbutilazina+glyphosate, mesotrione+atrazine+glyphosate, nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate) ocasionaram um incremento médio de 69,64% na fitotoxicidade ao se comparar com o uso dos produtos em isolado (nicosulfuron, terbutilazina, mesotrione+atrazine e glyphosate) para todas as épocas em que foram avaliados (Tabela 3). A utilização de misturas de herbicidas pode resultar em maior fitotoxicidade em comparação à aplicação desses produtos de forma isolada, devido aos efeitos sinérgicos que podem ocorrer. BASSO et al. (2018) ao usarem os herbicidas glyphosate + mesotrione em associação em milho observaram maior fitotoxicidade do que esses aplicados em isolado, o que corrobora em partes com os resultados encontrados no presente estudo.

A fitotoxicidade ocasionada pelos herbicidas, sejam eles aplicados em isolado ou em mistura em tanque, foram diminuindo com o passar do tempo, dos 7 aos 42 DAT (Tabela 3). A diminuição dos efeitos da fitotoxicidade podem ter sido ocasionadas pela detoxificação do herbicida pela planta fazendo que os sintomas de injúrias diminuíssem com o passar das avaliações. Robinson et al. (2015) relataram que as injúrias causadas por herbicidas em plantas são transitórias e como consequência podem não afetar a produção ou permitir que a cultura possa se recuperar dos sintomas de fitotoxicidade, como também observou-se no presente estudo.

Os resultados demonstram que a aplicação de terbutilazina demonstrou o maior acúmulo de área foliar do milho, igualando-se estatisticamente à testemunha capinada e sendo superior a todos os demais tratamentos, seja a cultura competindo com as plantas daninhas ou pela aplicação de herbicidas (Tabela 4). Os produtos que agem interrompendo ou transporte de elétrons no fotossistema II (terbutilazina) ocasionam redução da atividade fotossintética, o que pode levar a uma compensação da planta com maior investimento em área foliar (BATTAGLINO et al., 2021; CAÑERO et al., 2021; HEAP, 2024).

Todas as associações do milho com as plantas daninhas (papuã, buva, corda-de-viola e caruru) ocasionaram efeito negativo para o crescimento da planta em área foliar, inclusive quando a cultura esteve na presença de todas as espécies (papuã, buva, corda-de-viola e caruru), sendo inferior à testemunha capinada (Tabela 4). Essas espécies de plantas daninhas demonstram como principais características uma elevada habilidade competitiva, apresentando grande capacidade de competir com o milho por recursos essenciais como água, nutrientes e luz, prejudicando significativamente o crescimento e desenvolvimento da cultura (MELO et al., 2019; RODRIGUES et al., 2019).

Quando o milho competiu com o papuã, com o caruru e com a comunidade de plantas (papuã, buva, corda-de-viola e caruru) observou-se que essas espécies ocasionaram efeito mais drástico com menor área foliar em comparação da competição da cultura com a buva e corda-de-viola (Tabela 4). Como o milho esteve em convivência com algumas espécies que apresentam metabolismo do tipo C4 (papuã e caruru) isso confere a essas plantas daninhas elevada capacidade de extração e utilização dos recursos do meio. Além do rápido crescimento inicial e produção de biomassa que essas espécies com metabolismo C4 apresentam, o que as tornam, em várias situações, altamente competitivas, ainda mais quando estão convivendo em comunidade (ZEIGER, et al., 2017). Sabe-se também que as espécies que possuem características morfofisiológicas semelhantes costumam apresentar exigências similares no uso de recursos do meio, tornando a competição mais intensa e

consequentemente pode ser ter redução no rendimento das culturas (CURRY et al., 2012), como acontece com o milho x papuã no presente estudo. Galon et al. (2019), observaram que à medida que o papuã apareceu em maior proporção de plantas infestantes de vários híbridos de milho, a planta daninha apresentou maior acúmulo de área foliar que a cultura e consequentemente maior habilidade competitiva.

Observou-se a ocorrência de menor área foliar ao se aplicar os herbicidas nicosulfuron, nicosulfuron+glyphosate, terbutilazina+mesotrione+atrazine, terbutilazina+mesotrione+atrazine e mesotrione+atrazine, nicosulfuron+glyphosate em comparação com os demais herbicidas e com a testemunha capinada (Tabela 4). A área foliar do milho ao se aplicar os herbicidas nicosulfuron, nicosulfuron+glyphosate, terbutilazina+mesotrione+atrazine, terbutilazina+mesotrione+atrazine e mesotrione+atrazine, nicosulfuron+glyphosate somente foi maior ao se comparar com a cultura na presença das plantas daninhas, papuã, corda-de-viola, caruru e da comunidade composta por papuã+buva+corda-de-viola e caruru. A aplicação desses herbicidas com diferentes mecanismos de ação podem afetar diversos processos metabólicos e fisiológicos das plantas, resultando em uma redução da área foliar do milho. O uso da mistura em tanque de glyphosate, amônio-glufosinato e de atrazine demonstraram efeito no crescimento das plantas de milho, especialmente a menor altura de planta (SILVA et al., 2017). Resultados esses que corroboram em partes com os encontrados no presente trabalho.

O acúmulo de massa seca da parte aérea do milho foi maior ao se aplicar a mistura em tanque dos herbicidas nicosulfuron+terbutilazina a todos os demais tratamentos avaliados, inclusive superior à testemunha capinada (Tabela 4). Na sequência destaca-se como os melhores tratamentos o uso de nicosulfuron+mesotrione+atrazine, terbutilazina+mesotrione+atrazine e mesotrione+atrazine+nicosulfuron+glyphosate sendo iguais estatisticamente e somente inferiores a aplicação em milho do nicosulfuron+terbutilazina (Tabela 4).

As espécies papuã, caruru e a comunidade composta por papuã+buva+corda-de-viola e caruru ao competirem com o milho demonstraram o menor acúmulo de massa seca da parte aérea do milho, em relação a todos os demais tratamentos, sejam eles plantas daninhas ou herbicidas (Tabela 4). Conforme já explicado as plantas daninhas com metabolismo do tipo C4 apresentam características que as tornam com elevada habilidade competitiva ao competirem com as culturas, diminuindo assim o acúmulo de massa seca na parte aérea do milho (CURRY et al., 2012).

As variáveis fisiológicas do milho, concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (GS), taxa de transpiração (E), taxa fotossintética (A), eficiência de carboxilação (EC) e eficiência do uso da água (EUA) apresentaram melhor desempenho ao se aplicar os herbicidas mesotrione+atrazine+glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate ao se comparar com os demais tratamentos (Tabela 5). A frequência de abertura e fechamento dos estômatos, denominada condutância estomática (GS), é um parâmetro fisiológico chave que modula a taxa de transpiração (E). À medida que os estômatos se abrem, a condutância estomática aumenta, permitindo maior taxa de transpiração e consequentemente, maior dissipação de calor através da evaporação da água. Por outro lado, o fechamento estomático reduz a condutância estomática, diminuindo a taxa de transpiração e o gasto hídrico da planta (SADRAS et al., 2016; WANG et al., 2021). Segundo WANG et al. (2021), a tolerância das plantas aos herbicidas é variável, tendo isso uma ligação direta com as estruturas químicas dos próprios produtos, espécie que são aplicados, o que resulta em diferentes respostas fisiológicas.

A competição do milho com a buva, caruru e uso dos herbicidas nicosulfuron+terbutilazina, terbutilazina+mesotrione+atrazine, nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate foram influenciadas negativamente pela aplicação desses tratamentos, ao se comparar com os demais (Tabela 5). As plantas desenvolvem respostas fisiológicas e bioquímicas como estratégia de defesa, visando minimizar os danos causados pelos estímulos estressores, como a aplicação de herbicidas, ativando mecanismos de percepção e transdução de sinal, desencadeando cascatas de reações que culminam na expressão de genes relacionados à defesa. Essa capacidade adaptativa das plantas é fundamental para a sua sobrevivência em situações de estresse (AGOSTINETTO et al., 2016; SU et al., 2018). GALON et al. (2020) encontraram diferenças na eficiência de carboxilação e no uso da água ao aplicarem glyphosate e saflufenacil de modo isolado ou associados, no híbrido de milho SYN 488 VIP3, contribuindo em partes com os resultados observados no presente estudo.

Observou-se nos resultados dos nutrientes que a maior concentração de nitrogênio nas folhas de milho foram observadas nos tratamentos envolvendo o milho em competição com a buva, a aplicação dos herbicidas, nicosulfuron, terbutilazina, mesotrione+atrazine, glyphosate, nicosulfuron+glyphosate, terbutilazina+glyphosate, mesotrione+atrazine+glyphosate, nicosulfuron+terbutilazine+glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate, sendo esses tratamentos iguais

estatisticamente entre si e a testemunha capinada (Tabela 6). Todos os demais tratamentos igualaram-se entre si e apresentaram menor concentração de N. A presença de competição estimula o milho a aumentar a sua absorção alocando o nutriente nas folhas que pode ainda ocorrer também pelo estresse causado pelos herbicidas, aumentando a assimilação e acúmulo de N foliar como resposta de defesa (BIANCHO et al., 2022). Contudo, mesmo para os tratamentos que resultaram nos menores teores foliares de N, os valores foram excedidos acima da faixa de referência considerados adequados para o milho - 2,75-3,25 mg kg⁻¹ de N (MARTINEZ; CARVALHO; SOUZA, 1999).

A maior concentração de fósforo (P) foi denotada na testemunha capinada, milho em competição com papuã e o uso dos herbicidas glyphosate, terbutilazina+mesotrione+atrazine e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate que demonstram igualdade estatística entre si e foram superiores aos demais tratamentos (Tabela 6). A divergência entre os tratamentos para a concentração foliar de P, pode ter ocorrido pelo estímulo da competição da cultura com a planta daninha ou mesmo pelo estresse dos herbicidas aplicados o que altera a dinâmica de absorção, translocação e acúmulo de nutrientes pelas plantas de milho (CORREIA et al., 2013).

A aplicação de terbutilazina+mesotrione+atrazine e nicosulfuron+mesotrione+atrazina demonstraram as maiores concentrações de potássio (K) ao se comparar com todos os demais tratamentos (Tabela 6). As alterações promovidas por esses herbicidas, principalmente na fotossíntese e no metabolismo energético, podem ter estimulado a planta a aumentar a absorção e o acúmulo de K nas folhas, como uma resposta adaptativa ao estresse. De acordo com WANG et al., (2013) às plantas em situações de estresse alocam mais K para desenvolver paredes celulares mais fortes para prevenir infecções por patógenos, ataques de insetos ou mesmo o efeito tóxico de xenobióticos e dentre esses os herbicidas, assim se tem defesa das plantas e reparo de danos celulares. Entretanto, os resultados para os teores foliares de K em todos os tratamentos avaliados ficaram abaixo dos valores médios de referência, considerados adequados para o milho - 1,75-2,25 mg kg⁻¹ de K (MARTINEZ; CARVALHO; SOUZA, 1999). Esse fato pode ter ocorrido pelo estresse ocasionado pelas aplicações dos herbicidas ou pela competição das plantas daninhas. CORREIA et al., (2013) também obtiveram resultados inferiores para as concentrações foliares de K ao usarem herbicidas, resultados que corroboram com os encontrados na presente pesquisa.

Os herbicidas apresentaram boa seletividade para a cultura, após os 21 DAT, sendo que somente o nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate demonstraram fitotoxicidade superior a 20% ao híbrido de milho FS 400 PW. Os resultados demonstram que

a competição do milho com as plantas daninhas papuã, buva, caruru e corda-de-viola afetou negativamente a área foliar, a massa seca da parte aérea e a concentração dos nutrientes nas folhas do milho, evidenciando assim a elevada capacidade competitiva dessas espécies daninhas pelos recursos disponíveis no ambiente.

CONCLUSÃO

Os herbicidas, terbutilazina+glyphosate, mesotrione+atrazine+glyphosate, nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate apresentam a maior fitotoxicidade ao serem aplicados no híbrido de milho FS 400 PW.

Os tratamentos que apresentam menor desenvolvimento de área foliar e acúmulo de massa seca da parte aérea do híbrido de milho FS 400 PW são a competição do milho+papuã e milho+papuã+buva+corda-de-viola+caruru.

Dentre os herbicidas a aplicação do nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate ocasiona o menor crescimento em área foliar e acúmulo de massa seca da parte aérea do híbrido de milho FS 400 PW.

A competição do milho com a buva e o caruru e aplicação de nicosulfuron+terbutilazina, terbutilazina+mesotrione+atrazine, nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate e mesotrione+atrazine+nicosulfuron+glyphosate demonstram efeitos negativos às variáveis fisiológicas que foram avaliadas no híbrido de milho FS 400 PW.

A maior concentração dos nutrientes nitrogênio e fósforo ocorre no milho sem aplicação de herbicidas e livre da competição de plantas daninhas (testemunha capinada) e na aplicação dos herbicidas glyphosate e nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate no híbrido de milho FS 400 PW.

O uso de nicosulfuron+mesotrione+atrazine e de terbutilazina+mesotrione+atrazine demonstram o maior acúmulo de potássio no híbrido de milho FS 400 PW.

REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D. et al. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submitted to herbicides application. **Planta Daninha**, v.34, n.1, p.1-9, 2016.

AGOSTINETTO, M.C. et al. Sinergismo de misturas de glyphosate e herbicidas inibidores da PROTOX no controle de corda-de-viola. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, n.1, p.8-15, 2016.

AGROFIT. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 1 Jun. 2024.

ALBRECHT, A. J. P. et. al. O milho RR2 e o glyphosate: Uma revisão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.13, n.1, p.58-67, 2014.

AZANIA, A.A.P.M. et al. Interferência da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na emergência de espécies de plantas daninhas da família convolvulaceae. **Planta Daninha**, v.20, n.2, p.207-212, 2002.

BIANCHO, L. E. et al. Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada em cultivo de milho safrinha. **Unifunc Científica Multidisciplinar**, v. 11, n. 13, p. 1–15, 2022.

BARROSO A. A. M. et. al. Crescimento e desenvolvimento de plantas daninhas do gênero *Ipomoea*. **Planta Daninha**, v. 34, s/n, e019186421, 2019.

BASSO, F. J. M. et. al. Manejo de plantas daninhas em milho RR[®] com herbicidas aplicados isoladamente ou associados ao glyphosate. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 148-157, 2018.

BATTAGLINO, B.; GRINZATO, A.; PAGLIANO, C. Binding properties of photosynthetic herbicides with the QB Site of the D1 protein in plant photosystem II: a combined functional and molecular docking study. **Plants**, v.10, 1501, 2021.

BAYÓN, N.D. Identifying the weedy amaranths (*Amaranthus*, Amaranthaceae) of South America. **Advances in Weed Science**, v.40, e0202200013, 2022.

BOTTCHER, A. A. et al. Terbutylazine herbicide: an alternative to atrazine for weed control in glyphosate-tolerant maize. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, 57(8), 609–616. 2022.

CAÑERO, A. et al. Effect of the herbicides terbutylazine and glyphosate on photosystem II photochemistry of young olive (*Olea europaea*) plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.25, n.10, p.5528-5534, 2021.

CORREIA, E. M.; SANTOS, E. Teores foliares de macro e micronutrientes em milho tolerante ao glyphosate submetido à herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, p.3165-3172, nov./dez. 2013.

CHU, S. et al. The Critical period of weed control in an interseeded system of corn and alfalfa. **Weed Science**, v.70, n. 6, p.1-24, 2022.

CIRIMINNA, R. et al. Herbicidas à base de ácido pelargônico: Herbicidas da bioeconomia. **Biocombustíveis, Bioprodutos e Biorrefinação**, v. 13, n. 6, p. 1476-1482, 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos**. Boletim da Safra de Grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 03 jun. 2024.

CURRY, J. P. et al. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 287-296, 2012.

DREESEN, R. et al. Characterization and safety assessment of HPPD W336, a modified 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase protein, and the impact of its expression on plant metabolism in the herbicide-tolerant soybean MST-FGØ72-2. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 97, s/n p. 170-185, 2018.

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

FORD, L. et al. Control of Canada fleabane (*Conyza canadensis*) with glyphosate DMA/2,4-D choline applications in corn (*Zea mays*). **Agricultural Sciences**, v.5, n.1, p.77-83, 2014.

FRANCISCHINI, A. C. et al. Carryover de herbicidas utilizados no controle de soqueiras do algodoeiro sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 3, p. 305-318, 2020.

FRANDOLOSO, F. et al. Competition of maize hybrids with alexandergrass (*Urochloa plantaginea*). **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.9, p.1447, 2019.

GALON, L. et al. Selectivity of saflufenacil applied alone or mixed to glyphosate in maize. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 775-787, 2020.

GALON, L. et al.. Interação competitiva e nível de dano econômico de *Urochloa plantaginea* em híbridos de milho. **Arquivos do Instituto Biológico.**, v.86, e0182019. p.1-9, 2019.

GALON, L. et al. Interaction between pesticides applied alone or in mixtures in corn. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.56, n.11, p. 986-993, 2021.

GALON, L. et al. Períodos de interferência de *Brachiaria plantaginea* na cultura do milho na região Sul do Rio Grande do Sul. **Planta Daninha**, v.26, n.4, p.779-788. 2008.

GALON, L. et al. Weed control in “LL” maize tolerant to glufosinate-ammonium. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, e1194, 2020.

HEAP, I.A. (2024). **Criteria for confirmation of the herbicide-resistant weeds**. Disponível em: <http://weedsience.org/Pages/Species.aspx>. Acesso em: 15/06/2024.

International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications - ISAAA. GM Crop Events approved in Brazil. Disponível em: <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/> Acesso em:14 jun. 2024.

KASPARY, T. E. et al. Growth, phenology, and seed viability between glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible hairy fleabane. **Bragantia**, v.76, n.1, p. 92-101. 2017.

KHATOUNIAN C. A. et al. Seed production of *Urochloa plantaginea* (Link) R. Webster infesting maize and in pure stands. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 11 s/n p. 281-286, 2016.

KOEHLER-COLE, K. et al. Spring-planted cover crops for weed control in soybean. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v.36, n.5, p. 501-508, 2021.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Leaf water relations of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to soil drying. **European Journal of Agronomy**, v. 16, n. 2, p. 137-150, 2004.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**: plantio direto e convencional. 7. ed. Nova Odessa, 382p., 2014.

MAIA, T. M. et al. Associações herbicidas aplicadas na cultura do milho pipoca em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 350-363, 2019.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G. SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 143-168, 1999.

MELO T.S. et al. Weed diversity in corn with different plant arrangement patterns grown alone and intercropped with palisadegrass. **Planta Daninha**, v37:e019195957, 2019.

NICOLETTI, T. R. S. Interferência das plantas daninhas e seus métodos de controle. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 1, p. e311129-e311129, 2022.

OSÓRIO, C.W. et al. Milho RR submetido a diferentes manejos de herbicidas e adubação foliar. **Nativa**, v. 3, n. 2, p. 78-82, 2015.

PIASECKI, C. et al. Glyphosate applied at the early reproductive stage impairs seed production of glyphosate-resistant hairy fleabane. **Planta Daninha**, v.37, e019196815, 2019.

PICCININI, F. et al. Interferência de cordas-de-viola na produtividade da soja. **Planta Daninha**, v.36, e018150988, 2018.

ROBINSON, M.A. et al. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) response to herbicides as affected by application timing and temperature. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n.2, p. 325- 333, 2015.

RODRIGUES, L.D.S. et al. Milho tolerante ao glifosato: interação entre herbicidas pós-emergentes e época de controle das plantas daninhas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18, n.2, p. 168-177, 2019.

SADRAS, V. O. et al. Effects of water stress on crop production. In: **Principles of agronomy for sustainable agriculture**. Springer, Cham, 2016. p. 189-204.

SALOMÃO, P. E. A. et. al. Herbicidas no Brasil: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e32921990-e32921990, 2020.

SBCPD. SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995. 42 p. 1995.

SEVERINO, F. J. et al. Interferência mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. I implicações sobre a cultura do milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, v.23, n. 4, p. 589-596, 2005.

SILVA, A. F. M. et al. Seletividade de herbicidas isolados e em associações para milho RR2/LL[®]. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.16, n.1, p.60-66, jan./mar. 2017.

SILVA, M. R. et al. Weed management in glyphosate-resistant maize. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, n.1-9, e0862019, 2020.

SILVA, J. O. et al. Sensibilidade de plantas de milho aos herbicidas dicamba e triclopyr. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, e141111436255, 2022.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - SBCS. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre-RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3.ed. UFRGS: EMATER/RS-ASCAR, Porto Alegre, p. 251, 2018.

SU, W.C. The residual effects of bensulfuron-methyl on growth and photosynthesis of soybean and peanut. **Photosynthetica**, v.56, n. 2, p.670-677, 2018.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed rev. e ampl.. Porto Alegre: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

WANG, M. et al. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, n. 4, p. 7370-7390, 2013.

WANG, F. et al. Criando um novo alelo Os ALS de tolerância a herbicidas usando edição de genes mediada por CRISPR/Cas9. **The Crop Journal**, v. 9, n. 2, p. 305-312, 2021.

ZANDVAKILI, O.R. et al. Role of cover crops and nicosulfuron dosage on weed control and productivity in corn crop. **Weed Science**, v.68, n. 6, p.664-672, 2020.

ZHOU, C. et al. C–P natural products as next-generation herbicides: chemistry and biology of glufosinate. **Journal of agricultural and Food chemistry**, v. 68, n. 11, p. 3344-3353, 2020.

Tabela 1. Tratamentos, doses e adjuvante utilizados no híbrido de milho, nas safras agrícolas de 2022/23 e 23/24. UFFS/Erechim/ RS, 2024.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Adjuvante (0,5% v/v)
Testemunha capinada	—	—
Milho + papuã	—	—
Milho + buva	—	—
Milho+corda-de-viola	—	—
Milho + caruru	—	—
Milho+papuã+buva+corda-de-viola+caruru	—	—
Nicosulfuron	60	Dash
Terbutilazina	1000	Dash
Mesotrione + atrazine	120+1200	Dash
Glyphosate	1335	—
Nicosulfuron + glyphosate	60+1335	Dash
Nicosulfuron + terbutilazina	60+1000	Dash
Nicosulfuron + mesotrione + atrazine	60+120+1200	Dash
Terbutilazina + mesotrione + atrazine	1000+120+1200	Dash
Terbutilazina + glyphosate	1000+1335	Dash
Mesotrione+atrazine+glyphosate	120+1200+1335	Dash
Nicosulfuron+terbutilazina+glyphosate	60+1000+1335	Dash
Mesotrione+atrazine+nicosulfuron+glyphosate	120+1200+60+1335	Dash
Nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate	60+1000+120+1200+1335	Dash

Tabela 2. Condições ambientais no momento da aplicação dos herbicidas em pós-emergência do híbrido de milho, para os dois experimentos conduzidos nas safras 2022/23 e 2023/24.

Experimentos	Data da aplicação	Luminosidade (%)	Temperatura (°C)		Umidade relativa do ar (%)	Condições de solo	Velocidade do vento (km h ⁻¹)
			ar	solo			
Safra 2022/23	09/02/2023	100%	30°C	32°C	45%	Friável	4 km/h
Safra 2023/24	19/12/2024	100%	31°C	33°C	68%	Friável	3,2 km/h

Tabela 3. Fitotoxicidade (%) de herbicidas aplicados em pós-emergência no híbrido de milho, nas safras agrícolas 2022/23 e 23/24. UFFS, Campus Erechim/RS, 2024.

Tratamentos	Fitotoxicidade ao milho (%)		
	7 DAT ¹	14 DAT	21 DAT
Testemunha capinada	0,00 c ²	0,00 b	0,00 b
Nicosulfuron	12,00 b	3,38 b	5,00 b
Terbutilazina	9,75 b	6,38 b	2,25 b
Mesotrione + atrazine	10,75 b	7,00 b	3,13 b
Glyphosate	7,00 b	4,75 b	2,50 b
Nicosulfuron + glyphosate	14,38 b	12,25 b	9,38 b
Nicosulfuron + terbutilazina	8,75 b	5,75 b	1,25 b
Nicosulfuron + mesotrione + atrazine	9,25 b	7,75 b	3,75 b
Terbutilazina + mesotrione + atrazine	11,25 b	8,75 b	5,00 b
Terbutilazina + glyphosate	21,88 a	18,50 a	14,38 a
Mesotrione + atrazine + glyphosate	25,13 a	21,00 a	17,50 a
Nicosulfuron + terbutilazina + glyphosate	17,63 a	19,38 a	19,13 a
Mesotrione + atrazine + nicosulfuron + glyphosate	11,75 b	8,75 b	5,00 b
Nicosulfuron + terbutilazina + mesotrione + atrazine + glyphosate	24,38 a	23,88 a	20,63 a
Média Geral ²	13,13	10,96	7,78
C.V. (%)	47,52	63,25	91,67

¹ Dias após a aplicação dos tratamentos. ² Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a p≤0,05.

Tabela 4. Área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS) do híbrido de milho, cultivado nas safras agrícolas 2022/23 e 23/24. UFFS, Campus Erechim/RS, 2024.

Tratamentos	AF (cm vaso ⁻¹)	MS (g vaso ⁻¹)
Testemunha capinada	21711,00 a ¹	151,44 c
Milho + papuã	3609,00 g	45,10 d
Milho + buva	13643,00 d	142,56 c
Milho + corda-de-viola	11989,00 e	134,54 c
Milho + caruru	7406,75 f	79,87 d
Milho + papuã + buva + corda-de-viola + caruru	3328,75 g	39,41 d
Nicosulfuron	13741,75 d	153,84 c
Terbutilazina	21711,00 a	175,43 c
Mesotrione + atrazine	15025,40 c	166,39 c
Glyphosate	19005,50 b	152,96 c
Nicosulfuron + glyphosate	13814,00 d	161,84 c
Nicosulfuron + terbutilazina	15387,00 c	256,81 a
Nicosulfuron + mesotrione + atrazine	14625,75 c	216,71 b
Terbutilazina + mesotrione + atrazine	12786,25 e	216,66 b
Terbutilazina + glyphosate	14850,00 c	158,53 c
Mesotrione + atrazine + glyphosate	16703,50 c	137,06 c
Nicosulfuron + terbutilazina + glyphosate	12054,25 e	119,72 c
Mesotrione + atrazine + nicosulfuron + glyphosate	13837,00 d	202,62 b
Nicosulfuron + terbutilazina + mesotrione + atrazine + glyphosate	15961,25 c	125,99 c
Média Geral ¹	13698,72	149,33
C.V. (%)	11,14	27,16

¹ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a p≤0,05.

Tabela 5. Variáveis fisiológicas, concentração interna de CO₂ (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), condutância estomática (GS , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa transpiratória (E , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência de carboxilação (EC - $\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência no uso da água das plantas (EUA - mol mol^{-1}) em função da aplicação de herbicidas em pós-emergência no híbrido de milho, nas safras agrícolas 2022/23 e 23/24. UFFS, Campus Erechim/RS, 2024.

Tratamentos	Características fisiológicas do milho					
	C_i	GS	E	A	EC	EUA
Testemunha capinada	196,25 c ¹	1,26 g	0,07 b	10,04 a	8,02 a	0,05 b
Milho + papuã	192,75 c	1,39 g	0,06 b	8,78 c	6,36 b	0,04 c
Milho + buva	253,50 a	1,66 f	0,06 b	8,70 c	5,27 c	0,03 e
Milho + corda-de-viola	208,75 c	2,00 e	0,07 b	8,57 d	4,34 d	0,04 d
Milho + caruru	249,75 a	2,01 e	0,11 a	8,59 d	4,30 d	0,03 e
Milho + papuã + buva + corda-de-viola + caruru	172,00 d	2,28 d	0,06 d	8,75 c	3,86 e	0,05 b
Nicosulfuron	208,25 c	2,75 b	0,08 b	9,46 b	3,51 e	0,04 c
Terbutilazina	229,50 b	2,76 b	0,08 b	7,74 e	2,82 g	0,03 e
Mesotrione + atrazine	200,25 c	2,77 b	0,07 b	8,57 d	3,10 f	0,04 d
Glyphosate	223,00 b	2,69 b	0,08 b	8,87 c	3,36 f	0,03 d
Nicosulfuron + glyphosate	218,00 b	3,40 a	0,08 b	9,30 b	2,76 g	0,04 c
Nicosulfuron + terbutilazina	248,25 a	2,51 c	0,09 a	8,86 c	3,58 e	0,03 e
Nicosulfuron + mesotrione + atrazine	233,00 b	2,71 b	0,08 b	9,16 b	3,39 f	0,04 d
Terbutilazina + mesotrione + atrazine	241,00 a	2,20 d	0,07 b	7,87 e	3,58 e	0,03 e
Terbutilazina + glyphosate	254,00 a	2,32 d	0,08 b	6,55 f	2,87 g	0,02 f
Mesotrione + atrazine + glyphosate	155,00 e	2,38 c	0,07 b	9,76 a	4,10 d	0,06 a
Nicosulfuron + terbutilazina + glyphosate	245,75 a	2,46 c	0,10 a	9,00 c	3,67 e	0,03 e
Mesotrione + atrazine + nicosulfuron + glyphosate	240,25 a	2,68 b	0,10 a	8,36 d	3,14 f	0,03 e
Nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate	151,50 e	3,24 a	0,07 b	9,15 b	2,83 g	0,06 a
Média Geral ¹	216,88	2,39	0,07	8,74	3,93	0,04
C.V. (%)	6,64	8,85	21,78	3,80	11,24	9,02

¹ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a $p \leq 0,05$.

Tabela 6. Teores dos nutrientes foliares: nitrogênio - N (dag kg⁻¹ - %), fósforo - P (dag kg⁻¹ - %) e potássio – K (dag kg⁻¹ - %) no híbrido de milho em função da aplicação de herbicidas e competição com plantas daninhas nas safras agrícolas 2022/23 e 23/24. UFFS, Campus Erechim/RS, 2024.

Tratamentos	Acúmulo de nutrientes em milho		
	N	P	K
Testemunha capinada	4,95 a ¹	0,33 a	0,56 d
Milho + papuã	3,81 b	0,30 a	0,51 d
Milho + buva	4,54 a	0,29 b	0,58 c
Milho + corda-de-viola	3,94 b	0,27 b	0,60 c
Milho + caruru	3,56 b	0,27 b	0,57 c
Milho + papuã + buva + corda-de-viola + caruru	3,48 b	0,26 b	0,60 c
Nicosulfuron	4,84 a	0,28 b	0,54 d
Terbutilazina	4,91 a	0,28 b	0,53 d
Mesotrione + atrazine	4,77 a	0,26 b	0,53 d
Glyphosate	4,48 a	0,34 a	0,54 d
Nicosulfuron + glyphosate	4,65 a	0,29 b	0,54 d
Nicosulfuron + terbutilazina	3,82 b	0,27 b	0,53 d
Nicosulfuron + mesotrione + atrazine	3,60 b	0,26 b	0,70 b
Terbutilazina + mesotrione + atrazine	3,34 b	0,30 a	0,77 a
Terbutilazina + glyphosate	4,53 a	0,27 b	0,57 c
Mesotrione + atrazine + glyphosate	4,96 a	0,27 b	0,61 c
Nicosulfuron + terbutilazina + glyphosate	5,16 a	0,27 b	0,56 d
Mesotrione + atrazine + nicosulfuron + glyphosate	3,77 b	0,27 b	0,60 c
Nicosulfuron+terbutilazina+mesotrione+atrazine+glyphosate	4,86 a	0,31 a	0,56 d
Média Geral ¹	4,31	0,28	0,57
C.V. (%)	15,4	15,27	8,83

¹ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a p≤0,05.