

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV

MARISSA PRÁ DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CAPIM-ARROZ (*Echinochloa crus galli*)
A HERBICIDAS INIBIDORES DE ALS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.**

LAGES

2023

MARISSA PRÁ DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CAPIM-ARROZ (*Echinochloa crus galli*)
A HERBICIDAS INIBIDORES DE ALS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, área de concentração em Produção Vegetal. Orientador: Prof. Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto.

LAGES

2023

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Souza, Marissa Prá de
CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE
CAPIM-ARROZ (*Echinochloa crus galli*) A HERBICIDAS
INIBIDORES DE ALS NO ESTADO DE SANTA CATARINA. /
Marissa Prá de Souza. -- 2023.
74 p.

Orientador: Antonio Mendes de Oliveira Neto
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2023.

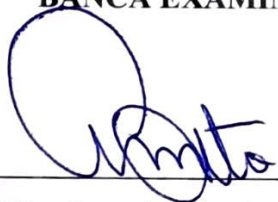
1. Acetolactato sintase. 2. Arroz irrigado. 3. Controle químico.
4. Planta daninha. I. Oliveira Neto, Antonio Mendes de . II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção
Vegetal. III. Título.

MARISSA PRÁ DE SOUZA

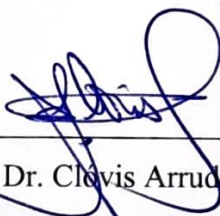
**CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CAPIM-ARROZ (*Echinochloa crus galli*)
A HERBICIDAS INIBIDORES DE ALS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, área de concentração em Produção Vegetal.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto
Universidade do Estado de Santa Catarina



Prof. Dr. Clevis Arruda de Souza
Universidade do Estado de Santa Catarina

gov.br

Documento assinado digitalmente
DIECSON RUY ORSOLIN DA SILVA
Data: 23/06/2023 09:00:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Diecson Ruy Orsolin da Silva
Universidade Federal de Santa Maria

Lages, 22 de junho de 2023

Dedico este trabalho às pessoas que me oferecem amor na sua forma mais pura sem pedir nada em troca: Marisol Siqueira Prá, Reginaldo Ricardo de Souza, Vera Joana Siqueira Prá e Irassú Amorim Prá.

AGRADECIMENTOS

Sem dúvida ao Pai Celestial, por escrever tão bem minha trajetória. E por Ele me permitir cair, aprender e me transformar. Graças a Ti, permaneço em pé e crente em minha evolução.

À incrível família que sempre me incentivou a estudar e voar para onde o vento soprar. À minha estrutura, o porto seguro que jamais me deixará cair. Àqueles que sentem saudade da única filha, mas com o coração cheio de orgulho torcem pelo meu êxito na profissão: Marisol Siqueira Prá e Reginaldo Ricardo de Souza. A vós todo o meu amor.

Aos meus amados avós, Vera Joana Siqueira Prá pelo carinho infinito e colo fraterno. E em especial à memória de Irassú Amorim Prá, homem que com suas vivências de uma vida em outro continente, me ensinou sobre liberdade e garra, traçando o caminho da minha vida. Vou continuar te orgulhando nesse plano meu velho e lembrando amavelmente de suas histórias.

Ao meu orientador, Antonio Mendes de Oliveira Neto, pela orientação, oportunidade de aprendizado na área e obviamente, pela atenção que me exigiu. Com isso aprendi e levarei os ensinamentos da ciência das plantas daninhas em minha carreira.

Às minhas amigas que tornaram o percurso da pós-graduação muito mais leve e feliz: Diane Camila dos Santos, Raquel Carlos Fernandes, Jéssica Mayumi Anami, Grez Roberta Oliveira Santana, Viviane Oliveira Santos, Diana Carolina Lima Freitas e Luiza Búrigo Cavalcante. As risadas foram minha cura.

À psicóloga da instituição, Estela Maris, pela dedicação e ajuda ao me manter em equilíbrio e com foco para alcançar meus objetivos.

Aos colegas de laboratório pela incansável ajuda na condução dos ensaios e pela parceria nos eventos científicos: Leonardo Motta da Costa Silva, Mayra Luiza Schelter, Carlos Zacarias Joaquim Júnior, Elias Gustavo Simiano Kovalski, Filipe Crepaldi Cardoso e Anderson Abramsson.

Àquela que posso chamar de segunda casa, Fundação Universidade do Estado de Santa Catarina, pela minha formação profissional e humana. Foram os anos mais belos de minha vida, ao lado de pessoas que marcaram minha história na graduação e na pós-graduação. Assim como, sou grata ao programa de bolsas PROMOP pelo fomento à pesquisa.

“Se viermos a entender o que ele quer dizer com amor, a guerra terminaria e nós teríamos de regressar ao Céu”.

C. S. Lewis

RESUMO

As plantas daninhas interferem na produtividade das culturas, em Santa Catarina, onde o arroz é produzido predominantemente pelo sistema irrigado, a planta daninha que se destaca nesse ambiente é o capim-arroz. O objetivo da pesquisa foi caracterizar a resistência de biótipos de capim-arroz a herbicidas inibidores de ALS nas regiões orizícolas de Santa Catarina, elucidando as regiões com maior ocorrência e o nível de resistência. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina. O primeiro estudo foi o experimento 1 para quantificar a taxa de sobrevivência e o controle de 28 biótipos de capim-arroz coletados em Santa Catarina, após o tratamento com o herbicida imazapyr + imazapic ($73,50 + 24,50 \text{ g i.a. ha}^{-1}$). Os 21 biótipos com taxa de sobrevivência superior a 50% seguiram para o experimento 2, conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições. Os tratamentos foram organizados em esquema fatorial $3 \times 8 \times 21$, com três grupos químicos de inibidores de ALS imidazolinonas (imazapyr + imazapic) na dose $73,50 + 24,50 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, triazolpirimidinas (penoxsulam) na dose $48 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ e ácido pirimidiniloxibenzóico (bispyribac-sodium) na dose $80 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, aplicados em oito doses em 21 biótipos de capim-arroz. As avaliações de controle visual (%) e taxa de sobrevivência (%) foram realizadas aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA). Aos 28 DAA as plantas foram coletadas para determinação de matéria seca de parte aérea. A resistência foi confirmada a partir da diferença entre os biótipos aparentemente resistentes e suscetíveis, a partir das doses que promoveram controle de 50% e 80% (DL_{50} e DL_{80}) e fator de resistência (FR). Os biótipos CA07 (Tubarão) e CA13 (Rio do Campo) são suscetíveis aos três herbicidas utilizados. O biótipo CA17 (Massaranduba) possui resistência cruzada aos herbicidas imazapyr + imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium, herbicidas inibidores de ALS.

Palavras-chave: Acetolactato sintase; Arroz irrigado; Controle químico; Planta daninha.

CHARACTERIZATION OF THE RESISTANCE OF BROWN GRASS (*Echinochloa crus galli*) TO ALS-INHIBITOR HERBICIDES IN THE STATE OF SANTA CATARINA

Weeds interfere with crop productivity, in Santa Catarina, where rice is predominantly produced by the irrigated system, the weed that stands out in this environment is barnyardgrass. The objective of the research was to characterize the resistance of barnyardgrass biotypes to ALS-inhibiting herbicides in the rice growing regions of Santa Catarina, elucidating the regions with the highest occurrence and the level of resistance. The experiments were carried out in a greenhouse at the Center for Agroveterinary Sciences at the State University of Santa Catarina. The first study was experiment 1 to quantify the survival rate and control of 28 barnyardgrass biotypes collected in Santa Catarina, after treatment with the herbicide imazapyr + imazapic (73.50 + 24.50 g i.a. ha⁻¹). The 21 biotypes with a survival rate greater than 50% went on to experiment 2, conducted in a completely randomized design (DIC) with 4 replications. The treatments were organized in a 3 x 8 x 21 factorial scheme, with three chemical groups of ALS inhibitors imidazolinones (imazapyr + imazapic) at a dose of 73.50 + 24.50 g i.a. ha⁻¹, triazolpyrimidines (penoxsulam) at a dose of 48 g i.a. ha⁻¹ and pyrimidinyloxybenzoic acid (bispyribac-sodium) at a dose of 80 g i.a. ha⁻¹, applied in eight doses in 21 barnyardgrass biotypes. Visual control (%) and survival rate (%) assessments were performed at 7, 14 and 28 days after application (DAA). At 28 DAA the plants were collected for determination of shoot dry matter. Resistance was confirmed from the difference between the apparently resistant and susceptible biotypes, from the doses that promoted control of 50% and 80% (LD50 and LD80) and resistance factor (FR). Biotypes CA07 (Tubarão) and CA13 (Rio do Campo) are susceptible to the three herbicides used. The CA17 biotype (Massaranduba) has cross-resistance to the herbicides imazapyr + imazapic, penoxsulam and bispyribac-sodium, ALS-inhibiting herbicides.

Keywords: Acetolactate synthase; Flooded rice; Chemical control; Weed.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura populacional e demográfica de <i>Echinochloa</i>	19
Figura 2 - Local de condução dos experimentos em casa de vegetação na Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC.	32
Figura 3 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula da mistura formulada herbicida imazapyr + imazapic, aos 28 DAA em Lages, SC.	42
Figura 4 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula da mistura formulada herbicida imazapyr + imazapic, aos 28 DAA em Lages, SC.	43
Figura 5 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula da mistura formulada herbicida imazapyr + imazapic, aos 28 DAA em Lages, SC.	44
Figura 6 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida penoxsulam, aos 28 DAA em Lages, SC.	49
Figura 7 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida penoxsulam, aos 28 DAA em Lages, SC.	50
Figura 8 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida bispyribac-sodium, aos 28 DAA em Lages, SC.....	53
Figura 9 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida bispyribac-sodium, aos 28 DAA em Lages, SC.....	54
Figura 10 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida bispyribac-sodium, aos 28 DAA em Lages, SC.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Biótipos de capim-arroz e seus respectivos municípios de coleta em lavouras comerciais de arroz irrigado. Lages, SC, 2021/2022.	33
Tabela 2 - Escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas submetidas a tratamento herbicida.....	34
Tabela 3 - Biótipos submetidos ao experimento 2 com aplicação dos herbicidas imazapyr+imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium, em Lages, SC.....	35
Tabela 4 - Avaliação de sobrevivência (%) e controle (%) dos biótipos de capim-arroz aos 28 DAA, em Lages, SC.....	38
Tabela 5 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de imazapyr+imazapic aos 28 dias após aplicação (DAA) em Lages, SC.	40
Tabela 6 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de penoxsulam aos 28 dias após aplicação (DAA) em Lages, SC.	45
Tabela 7 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de bispyribac-sodium aos 28 dias após aplicação (DAA) em Lages, SC.	51
Tabela 8 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida imazapyr + imazapic, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.	70
Tabela 9 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida penoxsulam, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.	71
Tabela 10 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida bispyribac-sodium, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACCCase	Acetil CoA carboxilase
ALS	Acetolactato sintase
cm	Centímetro (s)
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
DAA	Dias após aplicação
DL	Dose letal
dm ³	Decímetro cúbico
FR	Fator de resistência
g	Gramma (s)
°C	Grau celsius
GR	Redução de crescimento
ha	Hectare (s)
h	Hora (s)
i. a.	Ingrediente ativo
L	Litro (s)
MSPA	Massa seca de parte aérea
m	Metro (s)
mL	Mililitro (s)
min	Minuto (s)
%	Porcentagem
p.c.	Produto comercial
Kg	Quilograma (s)
KPa	Quilopascal
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 ARROZ IRRIGADO EM SANTA CATARINA	15
2.2 PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO.....	16
2.3 BIOLOGIA E ECOLOGIA DE CAPIM-ARROZ	18
2.4 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS	19
2.5 MECANISMOS QUE CONFEREM RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS	23
2.5.1 Mecanismos relacionados à mudança no sítio de ação do herbicida	23
2.5.2 Mecanismos não relacionados à mudança no sítio de ação do herbicida	24
2.6 CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A INIBIDORES DA ALS	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL, SUBSTRATO E ADUBAÇÃO	31
3.2 EXPERIMENTO 1	32
3.3 EXPERIMENTO 2	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 EXPERIMENTO 1	37
4.2 EXPERIMENTO 2	39
5 CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE	70

1 INTRODUÇÃO

Na safra 2021/22, o Brasil produziu 9,99 milhões toneladas de arroz irrigado em 1,30 milhão ha de área cultivada, atingindo a produtividade de 7.675 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Em Santa Catarina, a produção teve um decréscimo em relação ao ano anterior, culminando em 1,17 milhão de toneladas produzidas, abrangendo a área de cultivo de 147,9 mil ha, resultando na produtividade de 7.967 kg ha⁻¹; ficando atrás apenas do Rio Grande do Sul. Comparando-se com o sistema de cultivo de arroz sequeiro na mesma safra, o país produziu 787,6 mil toneladas em 315,9 mil ha (CONAB, 2022). Em números, o sistema de arroz irrigado prova sua eficiência, destacando sua representatividade, principalmente na região Sul.

O arroz irrigado é uma cultura de grande importância na agricultura dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, já que faz uso viável de áreas de várzea presentes nessas regiões (MARTINS JR *et al.*, 2021). Estes estados produzem mais de 80% da oferta nacional, entretanto, existem desafios para produzir arroz de qualidade e em quantidade suficiente para atender a demanda crescente (PIVETA *et al.*, 2021).

O cultivo de arroz no Brasil coexiste entre as plantas daninhas e a cultura, portanto, práticas integradas de controle são fundamentais no manejo sustentável de sistemas baseados em cultivares de arroz resistentes a herbicidas (AVILA *et al.*, 2021).

Entre as características das plantas daninhas está a sua alta agressividade e rusticidade (RODRIGUES, 2022). Sabe-se que a competição entre plantas depende de diversas características fisiológicas, nutricionais e ambientais (FIALHO *et al.*, 2020). Essas por sua vez, competem com as plantas cultivadas por recursos como água, luz, nutrientes e espaço no solo, de forma que limita seu crescimento, desenvolvimento, o rendimento e produtividade de grãos (JÚNIOR *et al.*, 2021). Após a interferência das plantas daninhas estabelecida sobre as culturas, os efeitos são irreversíveis, afetando o desenvolvimento e produtividade mesmo após a retirada do estresse (FOERSTER *et al.*, 2022).

A planta daninha popularmente conhecida como capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*), gramínea com grande polimorfismo dentro da mesma espécie e, ainda, há ocorrência de cruzamentos naturais, produzindo-se híbridos que não se encaixam em nenhuma posição definida (GALON *et al.*, 2007), ou seja, planta de difícil identificação.

O uso de herbicidas tem proporcionado controle eficiente de forma econômica e seletiva das plantas daninhas nas principais culturas agrônômicas há anos, embora seu uso generalizado e frequente tenha resultado na evolução de plantas daninhas resistentes (JHALA *et al.*, 2021); ou seja, selecionado indivíduos naturalmente resistentes. Os herbicidas inibidores de ALS e

ACCCase têm maior probabilidade de evolução de resistência em relação aos demais mecanismos de ação com base na frequência de aplicação e casos relatados (SONI *et al.*, 2022). Os autores destacaram ainda, que os mecanismos de resistência relacionados ou não ao sítio de ação desses herbicidas têm sido descritos em diversas espécies de plantas daninhas.

Os herbicidas inibidores da ALS, do grupo químico das imidazolinonas, imazapyr, imazapic e imazethapyr tem sido amplamente empregado na produção de arroz no Brasil (TARLEY *et al.*, 2021). Todavia, biótipos de capim-arroz já foram identificados com resistência a diversos mecanismos de ação, incluindo inibidores ALS, como por exemplo, imazapyr + imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium (WU *et al.*, 2022a). Entende-se que a evolução da resistência a herbicidas em populações de capim-arroz ameaça a sustentabilidade do sistema produtivo.

A hipótese da pesquisa foi que a resistência de capim-arroz a herbicidas inibidores de ALS é amplamente difundida nas áreas orizícolas de Santa Catarina. A segunda hipótese é que há resistência cruzada aos herbicidas inibidores de ALS e que a maior capacidade de metabolização seria um mecanismo de resistência importante nos biótipos resistentes.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi caracterizar a resistência de biótipos de capim-arroz a herbicidas inibidores de ALS nas regiões orizícolas de Santa Catarina, elucidando as regiões com maior ocorrência e o nível de resistência.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARROZ IRRIGADO EM SANTA CATARINA

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o segundo cereal mais cultivado no mundo e o sistema irrigado é predominante nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SCHELDT *et al.*, 2020). Santa Catarina é o segundo maior produtor de arroz de várzea do Brasil, gerando retornos cambiais e desempenhando um importante papel socioeconômico no estado (MARSCHALEK *et al.*, 2020).

A preferência do consumidor brasileiro é pelo grão de arroz longo, fino e vítreo, com baixo índice de quebra, ou seja, os cerealistas buscam cultivares que suportem o processamento adequado e que tenham rendimento de grãos inteiros com mínimo prejuízo possível comparado ao valor de mercado do produto (FACCHINELLO *et al.*, 2021).

Na região do Litoral Sul catarinense a água utilizada para a irrigação das lavouras é captada diretamente de cursos d'água naturais, ou seja, são abastecidas pela Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba (MARTINS JÚNIOR; POLETTI, 2022). Caracterizando essa região, traz-se os municípios de Passo de Torres, Praia Grande, São João do Sul, Santa Rosa do Sul, Sombrio, Balneário Gaivota, Balneário Arroio do Silva, Araranguá, Ermo, Turvo e Jacinto Machado. Os autores concluíram em estudo uma particularidade marcante na atividade orizícola munida de água proveniente da bacia hidrográfica citada, como a salinidade.

O sistema de cultivo de arroz pré-germinado, é o mais utilizado nas lavouras de Santa Catarina compreendendo cerca de 80% e o restante conduzido em sistema de semeadura convencional ou cultivo mínimo com semeadura em solo drenado. O sistema pré-germinado faz uso de grandes volumes de água que auxiliam na formação de lama durante o preparo inicial do solo, proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento inicial das plântulas (JESUS *et al.*, 2022).

A irrigação da lavoura de arroz inicia-se aos 30 dias após aplicação dos herbicidas pós-emergentes. O momento ideal de início da irrigação relaciona-se à otimização do uso da água, ao impacto ambiental, ao custo de energia, ao controle de plantas daninhas e à ecofisiologia da cultura (AGOSTINETTO *et al.*, 2007).

O sistema pré-germinado foi introduzido por sua capacidade de mitigar problemas decorrentes da interferência por arroz-daninho e independência de condições climáticas para a semeadura nos quadros; esse sistema basicamente consiste na inundação entre 25 e 30 dias e preparo do solo antes da semeadura - pré-inundação, formação de lama, renivelamento e

alisamento do solo - ocorrendo a distribuição das sementes de arroz já pré-germinadas sobre a lâmina d'água (EPAGRI, 2022). Esse processo contribui para inibir novos fluxos de germinação de demais sementes de plantas daninhas como uma forma de controle físico. Além disso, ocorre a autocalagem e liberação de nutrientes na área, incluem os autores.

A tecnologia Clearfield® vem sendo amplamente utilizada em materiais de arroz, sendo muito adotada pelos produtores de Santa Catarina. Essa tecnologia possibilita o controle seletivo de plantas daninhas, tanto gramíneas quanto espécies de folha larga, utilizando herbicidas do grupo das imidazolinonas (IMI) em arrozais com ingrediente ativo imazapyr + imazapic (CONCENÇO *et al.*, 2022). O arroz resistente às imidazolinonas foi desenvolvido por meio de mutação induzida e melhoramento tradicional; uma mutação pontual no arroz naturalmente resistente ao grupo das imidazolinonas foi redirecionada ao gene da enzima do mecanismo de ação ALS (MASILAMANY *et al.*, 2021). Todavia, observa-se o uso inadequado dessa tecnologia por parte dos produtores, em um período de mais de dois anos consecutivos, contra a recomendação da detentora da tecnologia Clearfield® (MASILAMANY *et al.*, 2021). Isso resultou no aparecimento de biótipos de arroz-daninho e capim-arroz resistentes a herbicidas do grupo das imidazolinonas.

O arroz Clearfield™ (CL) é uma ferramenta de controle de arroz daninho que vem sendo utilizada no Brasil desde 2003, incluindo o uso de um arroz tolerante à aplicação de herbicida do grupo químico das imidazolinonas - IMI (AVILA *et al.*, 2021). A tecnologia de arroz CL proporciona a seletividade de arroz com plantas daninhas utilizando herbicidas IMI, combinação sequencial ou ainda pré-mistura de ingredientes ativos imazethapyr, imazapyr, imazapic e imazamox (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2020).

2.2 PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

Atualmente, as principais monocotiledôneas que infestam lavouras de arroz-irrigado em Santa Catarina é o arroz-vermelho, *Oryza sativa* (ou arroz daninho como é denominado em algumas regiões), seguido do gênero *Echinochloa* spp., planta que é conhecida como capim-arroz. Das espécies de dicotiledôneas, tem-se problemas relacionados à infestação da planta aquática *Sagittaria montevidensis*, pertencente à família Alismataceae.

A condição de inundação se torna um ambiente favorável para o desenvolvimento de plantas daninhas aquáticas, como a *Sagittaria montevidensis* (PITOL *et al.*, 2022). A sagitária tem se tornado uma planta daninha de difícil controle em lavouras de arroz irrigado de cultivo pré-germinado, visto identificação de sua resistência a herbicidas inibidores de acetolactato

sintase (ALS) e inibidores do fotossistema II em SC, ou seja, resistência múltipla (CATONI *et al.*, 2020).

O anjiquinho (*Aeschynomene* spp.) é uma planta daninha anual de folha larga problemática para a produção de arroz no Brasil, sendo que a dormência de sementes garante sua perpetuação em gerações (MARTINS *et al.*, 2021). Apesar de não germinar em condições de inundação, uma vez estabelecida, afeta a produtividade por competir por recursos, dificultar as operações de colheita e diminuir a qualidade de grãos e sementes (MARTINS *et al.*, 2021).

As principais espécies que causam perdas de produtividade são o arroz daninho (*Oryza sativa*) e o capim-arroz, *Echinochloa* spp. (SILVA *et al.*, 2020). O arroz-daninho ou arroz-vermelho é uma planta daninha problemática de grande impacto nos sistemas de produção de arroz no mundo, e isso se deve a características de dormência das sementes, permitindo reinfestação a longo prazo e persistência em campos de arroz (BALBINOT *et al.*, 2022). O arroz-vermelho demonstra alta competitividade em relação a cultivares de arroz, dependendo do nível de infestação, condições edafoclimáticas, cultivar, período de convivência com a cultura e biótipo presente na área (FLECK *et al.*, 2008). Além disso, possui alta capacidade de rebrote e produção de panículas contribuindo para o enriquecimento do banco de sementes local, e ainda pertence à mesma espécie do arroz cultivado, tornando difícil o controle seletivo devido sua semelhança morfofisiológica (SCHELTER *et al.*, 2021). Os métodos de controle sem herbicidas geralmente são vistos como trabalhosos e onerosos, visto que o arroz daninho é facilmente disperso junto com a semente do arroz cultivado, estabelece-se um banco de sementes persistente (OLIVEIRA NETO; GUERRA; NOLDIN, 2020).

A cultura do arroz segue a via fotossintética C₃ e se desenvolve em lavouras com plantas daninhas que seguem um caminho semelhante como o arroz daninho, e plantas daninhas C₄, como o capim-arroz (*Echinochloa* spp.), duas das principais plantas daninhas que competem com a cultura do arroz na América do Sul (AGOSTINETTO *et al.*, 2022). O capim-arroz possui alta capacidade competitiva devido à sua adaptação ao ambiente hidromórfico e rápido crescimento inicial, podendo comprometer a produtividade do cereal em até 100% (GUERRA *et al.*, 2020). Se reproduz por sementes, possui ciclo anual, rápida germinação, rápida emergência de plântula, alta adaptabilidade ao ecossistema da cultura do arroz, de forma que a competição por luz e CO₂ é de grande importância na interferência da taxa fotossintética e atividade fisiológica das raízes; tendo efeito direto no acúmulo de biomassa, consequentemente na produtividade da cultura (PIGATTO *et al.*, 2020).

O capim-arroz é uma planta semelhante morfofisiologicamente com a planta de arroz, sendo de difícil controle por sua vasta distribuição e alto nível de infestação; portanto, a

competição entre as duas espécies resulta em perdas na produtividade do cereal em termos qualitativos e quantitativos, assim como, a eficiência de aproveitamento dos recursos do ambiente (AGOSTINETTO *et al.*, 2008).

Tratando-se de interferência, em estudo realizado por Agostinetto *et al.* (2010), onde foi avaliado o grau de interferência e o nível de dano econômico (NDE) de populações de capim-arroz competindo com o arroz irrigado, concluiu-se que quanto mais elevado o potencial produtivo de arroz, menor seria a população dessa planta daninha para superar o NDE; tendo-se como resultado compensatória adoção de medidas de controle dessa espécie em áreas orizícolas.

2.3 BIOLOGIA E ECOLOGIA DE CAPIM-ARROZ

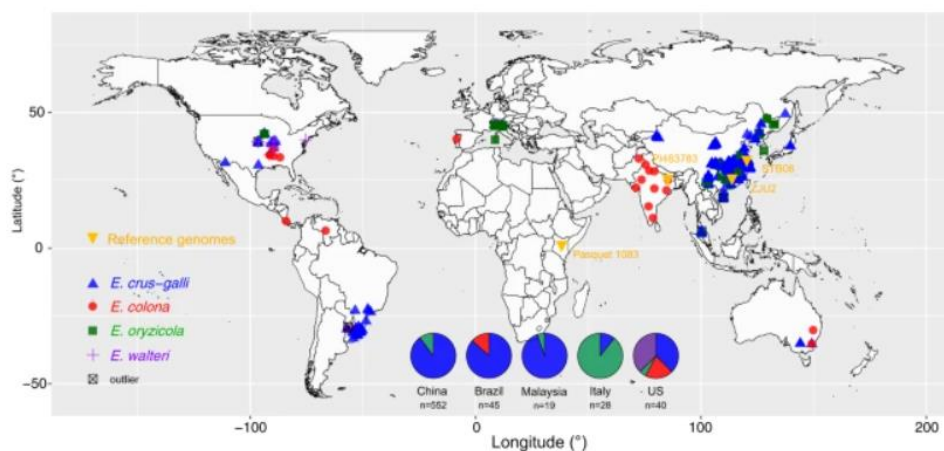
O capim-arroz é uma planta anual pertencente à família Poaceae e se propagada por sementes (JIN *et al.*, 2023), é ereta e com touceiras que geralmente se apresentam de forma compactada e possui polimorfismo dentro de uma mesma variedade, apresenta colmos delgados de diferentes diâmetros com ramificações principalmente nos nós basais (TRIVISIOL, 2020). É uma espécie alohexaploide que possui três cópias do gene ALS no seu genoma, é classificada como planta autógama e com taxas de fecundação cruzada que podem atingir 5% a 0,25 m de distância (TURRA, 2022). Sua origem é indiana e europeia, sendo encontrada na cultura do arroz e possuindo aspectos fisiológicos semelhantes à cultura (SILVA, 2022c). O gênero *Echinochloa* foi classificado entre as quatro plantas daninhas mais problemáticas com casos crescentes de resistência múltipla (ROUSE *et al.*, 2018).

O *Echinochloa crus-galli* L. é uma das plantas daninhas que mais compete por recursos com a cultura do arroz, sendo essencial o conhecimento sobre sua biologia e ecologia para planejar o manejo no campo (AWAN; STA CRUZ; CHAUHAN, 2021). A plasticidade, a fenologia, o rápido crescimento, a alta produção, dormência de sementes e adaptabilidade das espécies de capim-arroz contribui para seu sucesso nos agroecossistemas (RAO, 2021). *Echinochloa oryzoides* é uma espécie de planta daninha que possui cor brilhante, emergência precoce de panículas e ausência de quebra de dormência, possibilitando sua fácil identificação e controle a campo (POURAMIR & YAGHOUBI, 2021).

As espécies *O. sativa* e *E. crus-galli* demonstram similaridade no genoma, embora haja divergência entre os dados dessas gramíneas (WU *et al.*, 2022). O capim-arroz exhibe floração indeterminada e produção de panículas com reprodução principalmente por autofecundação; autógama, sendo que seu fluxo gênico está associado ao vento (JHALA *et al.*, 2021).

Foi investigada a hibridação entre *E. oryzicola* e *E. crus-galli*, porém foi constatado o retrocruzamento com *E. crus-galli* após um antigo evento de hibridização interespecífica, que levou à substituição do genoma do cloroplasto. (WU *et al.*, 2022b). Tal estudo mapeou, inclusive, acessos de capim-arroz no mundo (Figura 1), observando-se assim, a predominância de *E. crus-galli* seguido de *Echinochloa colona*. Principalmente as espécies *E. colona*, *E. crus-galli* e *E. phyllopogon* causam problemas no cultivo de arroz no mundo (KAYA-ALTOP *et al.*, 2019).

Figura 1 - Estrutura populacional e demográfica de *Echinochloa*



Fonte: WU *et al.* (2022b).

E. colona pode causar entre 1,5% e 100% de perdas na produção de arroz, principalmente devido ao seu rápido crescimento, alta capacidade competitiva, alto potencial de produção de sementes e ampla faixa ecológica (ZHANG *et al.*, 2017). Foi observado que a luz aumenta fortemente a germinação em 90% para *E. crus-galli* e 80% em *E. colona* quando semeadas na superfície do solo, sendo que a cobertura morta de trigo (*Triticum aestivum* L.) reduz consideravelmente a emergência de plântulas e biomassa (ZHANG *et al.*, 2023).

O capim-arroz, *Echinochloa crus-galli* é uma planta daninha problemática nos campos de arroz, devido à aplicação excessiva de herbicidas que causa a seleção de plantas daninhas resistentes, sendo o manejo integrado pode reduzir a dependência de herbicidas e prolongar a evolução dessa resistência (ZHOU *et al.*, 2021).

2.4 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CAPIM ARROZ A HERBICIDAS

Uma planta daninha é dita como suscetível a determinado herbicida quando apresenta um grau de injúria ou até mesmo sua morte após aplicação do produto (HRAC, 2016). Enquanto a tolerância é definida pela planta daninha possuir naturalmente a capacidade de sobreviver e se reproduzir após aplicação da dose recomendada do herbicida, sendo uma característica inata da espécie (MENDES; SILVA, 2022). A resistência de uma planta daninha ao herbicida é tida como a capacidade de uma população sobreviver e se reproduzir, após aplicação de dose herbicida que seria letal de acordo com a dose de bula, sendo uma característica herdável e adquirida na evolução pela pressão de seleção (MARKUS *et al.*, 2021). A resistência pode ser classificada em simples, cruzada ou múltipla. A resistência simples diz respeito a resistência da planta daninha a um único herbicida. A resistência cruzada se refere a planta que não é controlada com herbicidas de diferentes grupos químicos de um mesmo mecanismo de ação. E por fim a resistência múltipla engloba a resistência a diferentes mecanismos de ação e diferentes mecanismos de resistência (ROMAN; VARGAS, 2005).

Atualmente, há 521 casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas no mundo, as quais compreendem 268 espécies, sendo 154 dicotiledôneas e 114 monocotiledôneas, que desenvolveram resistência a 21 de 31 sítios de ação de herbicidas e a 165 herbicidas diferentes, em 72 países (HEAP, 2022). Os sistemas de produção agrícola em larga escala dependem de forma intensa de herbicidas sintéticos no manejo de plantas daninhas, e tal atividade tornou a evolução de biótipos resistentes a herbicidas constante, situação que foi agravada após a introdução de culturas resistentes ao glifosato, de forma que acentuou a pressão de seleção imposta pela aplicação repetitiva de herbicidas (DAYAN, 2019). O HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) organizou os herbicidas comerciais em 20 grupos diferentes de acordo com o mecanismo de ação de cada um, embora inúmeras pesquisas sobre resistência e manejo de plantas daninhas, a resistência múltipla tem aumentado significativamente (HIKOSAKA; IWAHASHI; YAMATO, 2021). Segundo os autores ainda, para controlar essas espécies de plantas daninhas resistentes, são necessários novos herbicidas eficientes no mercado.

Na perspectiva evolutiva, a pressão de seleção exercida pelo herbicida seleciona biótipos naturalmente resistentes dentro de uma população; assim múltiplos mecanismos de resistência evoluem em uma população de plantas daninhas, dotando mecanismos que facilitam a sobrevivência para aumentar o número de sobreviventes (LAFOREST *et al.*, 2021).

A aplicação da mistura herbicida imazapyr + imazapic possui atividade residual no solo prevenindo a reinfestação na área por plantas daninhas. O mecanismo de sorção de IMI no solo é a partição hidrofóbica com a matéria orgânica do solo, portanto, em pH baixo (ácido) as

moléculas interagem com as partículas do solo retardando o processo de dissipação, aumentando sua persistência no ambiente (JUNKES *et al.*, 2022). A meia-vida esperada do imazapic em áreas de várzea da região Sul do Brasil é maior do que para terras secas como as comuns nas demais regiões produtoras de arroz, sendo estimada entre 63 e 77 dias, contrastando com a meia-vida de 60 dias previamente estimada para solos de terras secas; enquanto imazapyr possui meia-vida curta (MELO *et al.*, 2022).

Os protetores são compostos químicos usados com o intuito de melhorar a seletividade e segurança de herbicidas diversas culturas agrícolas, ativando genes que aumentam a desintoxicação metabólica de herbicidas semelhantes aos genes que causam resistência a herbicidas através do aumento do metabolismo em plantas daninhas (RIGON *et al.*, 2021). A resistência de *Echinochloa* ao quinclorac foi resolvida com inibidores da ALS, mas a resistência a esses compostos também ocorreu nos últimos anos, então uma solução são os inibidores de ACCase seletivos para arroz apresentando alto risco para a evolução da resistência (CUTTI *et al.*, 2022).

Segundo Feijó *et al.* (2020), o sistema ClearField se tornou indispensável para controlar espécies de plantas daninhas da família Poaceae, como o arroz-daninho e o capim-arroz. E em estudo dos mesmos autores com mistura de tanque do herbicida saflufenacil e imazapyr + imazapic, cultivares resistentes ao grupo IMI são cultivadas com aplicação em pré e/ou pós-emergência, entretanto, a adoção intensiva e uso indevido da tecnologia acarretou à seleção de plantas daninhas resistentes. A evolução da resistência de uma planta daninha é influenciada pela herdabilidade, aptidão, sistema reprodutivo e dispersão de genes de seu biótipo resistente (BRABHAM; GERBER; JOHNSON, 2011).

Diversas são as estratégias de controle e mitigação para melhorar o cenário de resistência, entre elas: criação de cultivares de competitivas com as plantas daninhas, práticas de controle de sementes de plantas daninhas na colheita, avanço no manejo dessas plantas em tempo real ou através de mapas de prescrição, prevenir a entrada de sementes viáveis de plantas daninhas no banco de sementes do solo mantendo-os em nível baixo com o objetivo de diminuir sua proliferação populacional, evitar a disseminação de alelos de resistência, conhecer populações com resistência cruzada para informar estratégias de uso herbicida (BECKIE *et al.*, 2021).

Busi *et al.* (2020), a partir de estudo que objetivou quantificar e classificar o risco de plantas daninhas desenvolverem resistência a herbicidas aplicados no solo sob uso único, em rotações e em misturas, os autores concluíram que a mistura de herbicidas maximiza sua eficiência e conseqüentemente, retardam a evolução da resistência de plantas daninhas a

herbicidas. Há três fatores econômicos relevantes que justificam a falta de novos mecanismos de ação: adoção de culturas resistentes ao glifosato levando o agricultor à dependência de sementes com o gene de resistência; a redução na diversidade de grupos de pesquisa e comunidade cientista estagnou o crescimento do número de modos de ação; e por último tão importante quanto, o elevado custo de descoberta, desenvolvimento e atendimento aos requisitos legais para tal atividade (DUKE, 2012). A evolução da resistência a novos herbicidas ocorrerá inevitavelmente, então há interesse no desenvolvimento e descoberta de novos mecanismos de ação com alta seletividade, ecologicamente corretos e com lento desenvolvimento de resistência (QU *et al.*, 2021).

A identificação da espécie no campo é fundamental e ela parte da observação de falhas no controle de determinada planta daninha, sendo imprescindível confirmar se essas falhas se devem a outros fatores, por exemplo, problemas relacionados à tecnologia de aplicação ou aplicação em plantas fora do tamanho recomendado em bula. (BARROSO *et al.*, 2021a).

Segundo a Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD) e a Associação de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas – HRAC-BR (2018), há dez passos para relatar novos casos de resistência identificados no Brasil. Os canais para fazer esses relatos são a própria SBCPD (<http://sbcpd.org/>), HRAC-BR (<https://www.hrac-br.org/>) e “International Survey os Herbicide Resistant Weeds” (<http://www.weedscience.org/>).

Deve-se partir do princípio que as plantas que sobreviveram à aplicação do herbicida a campo foram tratadas de acordo com a recomendação de bula, na dose e estágio da espécie indicada. Então se coleta sementes dessa planta e se realiza ensaio de dose resposta com plantas originadas dessas sementes coletadas, sendo que o segundo ensaio deve ser realizado com plantas originadas das sementes das plantas sobreviventes do primeiro ensaio, ou seja, geração F1 e F2. O próximo passo é usar um modelo de regressão não-linear para determinar o GR50, GR90 e GR100 (dose necessária para reduzir a massa seca) e a DL50, DL90, DL100 (dose de controle) do biótipo suspeito de resistência em comparação com o biótipo suscetível. Também deve ser determinado o fator de resistência (FR), utilizando-se o ponto de inflexão da curva de dose resposta. É necessário identificar a espécie com chave de identificação botânica, ou ainda, técnicas moleculares. Responder ao questionário presente no guia de forma que todas devem ser “sim” em relação à resistência.

Os resultados dos ensaios de dose resposta, bem como, os resultados de GR, FR e DL juntamente com informações específicas como data e coordenadas geográfica das coletas, informações sobre as caldas empregadas etc, devem ser enviados em PDF ao Comitê de Resistência de Plantas Daninhas da SBCPD. Esse documento será analisado e atendendo aos

critérios será inserido no site da instituição e será divulgado amplamente aos envolvidos com o setor agrícola.

2.5 MECANISMOS QUE CONFEREM RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS

A resistência de plantas daninhas a herbicidas ocorre por meio de dois mecanismos primários de resistência, sendo resistência no sítio-alvo de ação e resistência no sítio não-alvo de ação (DALAZEN; MARKUS; MEROTTO JR., 2018). Segundo os autores ainda, o primeiro está associado à mutação no gene que codifica a enzima alvo e ao aumento da atividade da enzima alvo, enquanto o segundo mecanismo de resistência abrange a resistência causada pela menor absorção e variação na translocação do herbicida, rápida necrose por espécies reativas ao oxigênio (ROS), sequestro do herbicida no vacúolo da célula e intensificação da degradação do herbicida na planta.

2.5.1 Mecanismos relacionados à mudança no sítio de ação do herbicida

Tal mecanismo de resistência se baseia no local alvo do herbicida, ou seja, no sítio de ação conferido por mutações gênicas de enzimas-alvo, levando à redução da capacidade de ligação do herbicida (YANG *et al.*, 2018). Esse mecanismo envolve mutações no sítio de ação do herbicida resultando em uma proteína alvo insensível ou com menor sensibilidade ao herbicida, assim, resulta na superexpressão ou amplificação do gene alvo (JUGULAM; SHYAM, 2019). Além disso, seleciona indivíduos resistentes a herbicidas pertencentes a um único mecanismo de ação (RIGON *et al.*, 2020). Esses mecanismos envolvem uma mudança no alvo molecular, geralmente uma enzima, diminuindo a afinidade do herbicida que precisa se ligar para surtir seu efeito no controle da planta daninha; isso também pode ocorrer através do aumento da expressão da enzima alvo necessitando de mais herbicida para se tornar letal à planta (MURPHY; TRANEL, 2019).

A resistência a herbicidas inibidores de ALS tem sido associada em estudos principalmente a uma ou mais mutações pontuais no gene nuclear da ALS, interrompendo a ligação do herbicida e reduzindo a sensibilidade da enzima alvo nas plantas daninhas; a mutação pode ser de ponto, dupla ou tripla, onde ocorre a substituição de um ou mais aminoácidos (HADA *et al.*, 2021).

2.5.2 Mecanismos não relacionados à mudança no sítio de ação do herbicida

O mecanismo não relacionado à mudança no sítio de ação envolve processos fisiológicos que neutralizam a molécula herbicida e/ou desviam a molécula herbicida de sua proteína alvo; esse mesmo mecanismo pode permitir que as plantas daninhas resistam a herbicidas com diferentes mecanismos de ação e até mesmo herbicidas ainda não disponíveis comercialmente (GHANIZADEH; HARRINGTON, 2017).

Mecanismos relacionados à exsudação radicular de herbicidas são intermediados por transportadores hiperativos, ou superexpressos, de forma semelhante à exsudação natural de compostos primários e secundários das raízes das plantas; algumas espécies como *Arabidopsis* spp. foram estudadas por secretar moléculas herbicidas para a rizosfera através do sistema radicular (GHANIZADEH; HARRINGTON, 2020).

A rápida necrose é um mecanismo de rápida morte celular e no estudo com aplicação de glifosato sobre *Ambrosia trifida* L. constatou-se acúmulo de peróxido de hidrogênio minutos após aplicação herbicida em tecido foliar maduro, o que exigiu energia na forma de sacarose leve ou exógena, assim a translocação reduzida foi observada apenas quando associada à rápida necrose dos tecidos; então o mecanismo não está relacionado ao sequestro do glifosato no vacúolo ou à translocação (MORETTI *et al.*, 2018). Esse mecanismo pode envolver fitotoxicidade de glifosato ou outros ROS. Quando a *A. trifida* foi exposta ao tratamento herbicida, houve produção de H₂O₂ em nas folhas mais maduras e isso levou à perda de folhagem e reduziu a translocação de glifosato; esse por sua vez, quando aplicado em mistura com herbicidas em pós-emergência, o mecanismo de rápida necrose antagoniza essa combinação de moléculas herbicidas (HARRE; YOUNG; YOUNG, 2018). O mesmo ocorreu com *Conyza sumatrensis* submetida ao tratamento herbicida com glifosato, onde plantas aparentemente mortas foram capazes de rebrotar e se desenvolver novamente após um período de aplicação (QUEIROZ *et al.*, 2020). A morte celular programada pode ser causada é uma via que organiza a destruição de células para restringir possíveis danos por agentes patológicos, inclusive pode ser desencadeada por fatores ambientais na forma de estresse biótico e abiótico, como herbicidas (BURKE *et al.*, 2020). Em experimento de buva com sintoma incomum de rápida necrose, *Conyza sumatrensis*, foi constatado que esse mecanismo não está relacionado à desintoxicação de 2,4-D, podendo estar relacionado à alteração do receptor ou transporte de auxinas (QUEIROZ *et al.*, 2021).

A metabolização é o principal mecanismo de resistência não relacionado ao local de ação. Descobertas recentes têm identificado genes envolvidos nesse mecanismo que contribuem

para o aumento do metabolismo de herbicidas, exemplificado pela resistência de glifosato degradado no metabólito em *E. colona* e *E. crus-galli* (TORRA *et al.*, 2021). O aumento do metabolismo de herbicidas via glutathione S-transferases (GSTs) e citocromo P450 monooxigenases (CYP450) foi constatado em casos de resistência a herbicidas inibidores de HPPD e resistência ao 2,4-D (GIACOMINI *et al.*, 2020).

As monooxigenases do citocromo P450 (CYP) são uma das maiores famílias de enzimas, exibindo função metabólica complexa e versátil na maioria dos organismos, as quais seus genes CYP são detectados em bactérias, plantas, animais e humanos, e representam cerca de 1% dos genes codificadores de proteínas em plantas (LIU *et al.*, 2018). Um único gene da P450 na planta daninha *Lolium rigidum* possui resistência metabólica a pelo menos cinco mecanismos de ação em sete (HAN *et al.*, 2021).

Essas enzimas são responsáveis por adicionar um átomo de oxigênio ao herbicida, reduzindo a toxicidade antes de atingir o local de ação do herbicida (WERCK-REICHHART; HEHN; DIDIERJEAN, 2000). As enzimas do citocromo P450 desempenham um papel fundamental na resistência a herbicidas (YANG *et al.*, 2018). Os autores descreveram no estudo sobre a resistência metabólica aos herbicidas inibidores de ALS principalmente em espécies gramíneas como, *Digitaria sanguinalis* e também em *Sagittaria trifolia* e *Amaranthus palmeri*; e obtiveram como resultado que a absorção de tribenuron-metil foi semelhante tanto em biótipos resistentes quanto em suscetíveis, contudo, os biótipos resistentes exibiram taxas de metabolização mais rápida do herbicida.

A subfamília CYP81A em *E. phylloporon* foi responsável pela resistência a múltiplos herbicidas conferindo resistência cruzada para todos os grupos químicos de ALS e herbicidas inibidores do fotossistema II, da biossíntese de carotenoides na fitoeno desaturase, da protoporfirinogênio oxidase (PPO), da 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase (4-HPPD) e 1-desoxi-D-xilulose5-fosfato sintase (DIMAANO *et al.*, 2020). Na Austrália, populações de *Lolium rigidum* apresentaram resistência a herbicidas inibidores de ALS e acetil coenzima A carboxilase (ACCase), ou seja, resistência metabólica ocorrendo comumente na coevolução da resistência de mutações em sítio alvo, respectivamente (HAN *et al.*, 2016). A resistência cruzada é caracterizada pela resistência a dois ou mais herbicidas de diferentes grupos químicos dentro do mesmo mecanismo de ação (MARKUS *et al.*, 2021).

O bispiribac-sodium (inibidor de ALS) se encontra entre os herbicidas metabolizáveis por plantas de arroz (MARTINI *et al.*, 2022). Os mesmos autores relataram no estudo que o processo de metabolização do bispiribac-sodium é mediado por monooxigenases complexas do citocromo P450 durante a fase I. Os genes metabólicos de inibição da P450 e GSTs (glutathione

S-transferase), e fatores regulatórios de transcrição estão associados a fenótipos de *Beckmannia syzigachne* S. ao herbicida mesossulfuron-methyl, em áreas de rotação de arroz e trigo; ou seja, resistência metabólica sem mutação nos genes da enzima alvo ALS (WANG *et al.*, 2021).

Em experimento realizado com *Capsella bursa-pastoris* (L.) para confirmar sua resistência ao herbicida inibidor de ALS, tribenuron-metil, foi avaliado o efeito do Malathion, inseticida de contato e ingestão organofosforado, concentrado emulsionável (EC); sendo nulo seu efeito sobre o crescimento com seu uso isolado sobre plantas resistentes e suscetíveis da espécie, entretanto, sua combinação com o herbicida tribenuron-metil, reduziu o nível de resistência da população resistente em 69%. Esse resultado sugere que a metabolização mediada por P450 está envolvida na resistência dessas plantas ao herbicida (ZHANG *et al.*, 2021).

Mecanismos de resistência múltipla em populações de *E. crus-galli* ocorreram na China, visto atividades de enzimas GST e P450, assim como seus genes foram aumentados havendo metabolização do herbicida penoxsulam em plantas resistentes 4 vezes maior que em plantas suscetíveis (FENG *et al.*, 2022). A resistência de capim-arroz ao herbicida penoxsulam é conhecida em outros países produtores de arroz, como a resistência múltipla constatada em ensaios para testar a suscetibilidade de 52 populações de *E. crus-galli* ao penoxsulam e a outros 12 herbicidas utilizados em áreas orizícolas; entre as 48 populações resistentes, cerca de 8% apresentaram resistência muito alta, 58% resistência alta e 10% resistência moderada (CHEN *et al.*, 2016).

A planta daninha *A. tuberculatus*, historicamente, apresenta mudanças no sítio alvo de ação herbicida que explica seus mecanismos de resistência, entretanto, foram constatados mecanismo não relacionados à mudança no sítio de ação, denominada de desintoxicação dos herbicidas aplicados (TRANDEL, 2020). Para essa mesma espécie de planta daninha, um estudo sobre a resistência ao herbicida Dicamba avaliou sua hereditariedade e levantou a hipótese de que o herbicida seja mediado pela limitação da produção de espécies reativas a oxigênio (ROS) e pela redução da absorção deste, levantando-se inclusive, a hipótese de que essa resistência esteja associada à redução da síntese e acúmulo de ácido abscísico (BOBADILLA *et al.*, 2022).

A redução de translocação evoluiu em biótipos resistentes de *Eleusine indica* e a pressão de seleção exercida pela aplicação de glifosato levou à mutação na posição Pro-106 adicionado à superexpressão do gene EPSPS em biótipos resistentes; ou seja, além da translocação reduzida, os biótipos testados apresentaram ao menos um mecanismo de resistência relacionado à mudança do sítio de ação do glifosato (GHEREKHLOO *et al.*, 2017).

Um estudo a partir da falta de controle de *Amaranthus palmeri*, mesmo sem histórico a campo de uso intensivo de alguns dos herbicidas, relatou a predominância de resistência

metabólica que poderia estar sendo mediada pelo citocromo P450 conjuntamente com atividade da enzima GST, havendo predisposição dessa população a desenvolver resistência a múltiplos herbicidas (SHYAM *et al.*, 2021). Isso se deu à sobrevivência de doses recomendadas a campo de herbicida inibidor de 2,4-D, ALS, fotossistema II, EPSPS, PPO e HPPD, onde o tratamento de Malathion[®] com 2,4-D, mesotriona ou lactofeno reduziu significativamente o acúmulo de biomassa em plantas da população dessa planta daninha.

Em campos de trigo em Portugal foram investigados múltiplos casos de resistência a inibidores de ALS e mimetizadores de auxina (2,4-D) em populações de *Papaver rhoeas*, revelando um perfil de população multirresistente ao tribenuron-metil e 2,4-D juntamente com a metabolização mediada pelo citocromo P450, um segundo perfil resistente apenas ao 2,4-D, e o transporte reduzido foi observado em ambas populações; este é um caso de mutação dupla de nucleotídeos onde o aminoácido Pro-197-Phe foi substituído (PALMA-BAUTISTA *et al.*, 2022).

Ensaio com plantas de *E. crus-galli* e *E. glabrescens* são resistentes aos herbicidas penoxsulam, cyhalofop-butyl e quintrione, onde após sequenciamento transcriptoma foi identificada a expressão de bZIP88 aumentada após 6h de tratamento com esses herbicidas (ZHANG *et al.*, 2022).

Em estudo com biótipos da espécie *Ambrosia artemisiifolia* L. investigaram a taxa lenta de absorção e translocação de glifosato, sendo a resistência ao EPSPs conferida a um mecanismo ou a uma combinação de vários mecanismos, incluindo mutação no sítio de ação, amplificação e/ou elevação da expressão do gene EPSPS, sequestro vacuolar ativo, restrição da translocação e rápida necrose (GAINES *et al.*, 2017). Em síntese, o glifosato precisa estar presente no citoplasma para causar toxicidade à planta, contudo, há evidências de um transportador ABC que se utiliza como exportador da molécula herbicida na membrana plasmática diminuindo seu nível no citoplasma, o que confere resistência (PAN *et al.*, 2021).

2.6 CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A INIBIDORES DA ALS

A acetolactato sintase é a primeira enzima para biossíntese de cadeia ramificada dos aminoácidos essenciais valina, leucina e isoleucina, portanto, a inibição da atividade da enzima ALS leva a planta sensível à morte. A ALS é a primeira enzima que catalisa duas reações na via de biossíntese de aminoácidos e cadeia ramificada, havendo a condensação de duas moléculas de piruvato formando 2-acetolactato (biossíntese de valina e leucina), e a síntese de

2-acetohidroxiacetato a partir de piruvato e 2-acetobutirato - biossíntese de isoleucina (ZHOU *et al.*, 2007). A enzima ALS é sítio de ação comum ação de cinco grupos químicos de herbicidas: sulfoniluréias, imidazolinonas, triazolpirimidinas, pirimidil-benzoatos e sulfonil-aminocarbonyl-triazolinona. Esse mecanismo de ação foi largamente utilizado desde sua introdução no mercado em 1980, a pretexto de seu amplo espectro de controle sobre plantas daninhas tanto de folhas largas quanto de gramíneas, e por apresentar baixa toxicidade a mamíferos (YU; POWLES, 2014; XU *et al.*, 2021).

Herbicidas inibidores de ALS são potentes em doses extremamente baixas de forma que rapidamente as plantas daninhas evoluíram mecanismos de resistência, pois esses herbicidas possuem um único sítio de ação e muitos têm longa atividade residual (WITHCOMB, 1999).

As plantas daninhas resistentes a inibidores de ALS respondem cerca de um terço de todos os casos de resistência e são problemáticas principalmente na cultura do arroz e outros cereais (HEAP, 2014). Segundo banco de dados de “The International Survey for Herbicide Resistance” (<http://www.weedscience.org>), há relatos de onze casos globalmente de *Echinochloa crus-galli* resistente ao herbicida inibidor de ALS até maio de 2023, inclusive dois casos relatados na cultura do arroz no Brasil, onde foi observada resistência múltipla. Tal fonte ainda descreve ocorrência de resistência nos países China, Itália, Coreia do Sul, Turquia, Ucrânia, Uruguai e Vietnã, sendo o arroz a principal cultura a qual foram identificados os casos de resistência, seguido da cultura de milho. Diferentemente de *Echinochloa colona*, pois esse ocorreu em cinco casos relatados de resistência desde 2006, na Bolívia, Colômbia, Costa Rica, Egito e Venezuela, em pesquisa filtrada para os herbicidas imazapyr, imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium, todos na cultura do arroz (HEAP, 2023).

Um estudo sobre resistência de biótipos de *Centaurea cyanus* revelou alta variabilidade no nucleotídeo ALS obtido, bem como nas sequências de aminoácidos dentro de uma planta e entre plantas do mesmo biótipo (WRZESIŃSKA; PRACZYK, 2021).

O penoxsulam é um herbicida de ação residual de solo pertencente ao grupo químico das triazolpirimidinas sulfonamidas atuante na inibição da ALS, enzima responsável pela formação de aminoácidos de cadeia ramificada valina, leucina e isoleucina; caracterizam-se pelo amplo espectro de controle e efetividade com baixas doses do herbicida (AGOSTINETTO *et al.*, 2011). A partir de estudo relacionando irrigação com lâmina d'água e o herbicida, os autores obtiveram como resultado maior produtividade de grãos de arroz com aplicação maior ou igual a 36 g ha⁻¹ independente da época de tratamento herbicida e inundação com lâmina d'água em época inicial sem modificar o rendimento da cultura.

Há oito posições com mutações no gene ALS relatadas em casos de resistência herbicidas inibidores da enzima ALS. A substituição Pro-197-Ser confere resistência às sulfonilureias, enquanto a modificação Trp-574-Leu confere resistência às sulfonilureias e às imidazolinonas (MARKUS *et al.*, 2021).

Foi comprovada resistência cruzada em *Erigeron sumatrensis* (buva) aos herbicidas chlorimuron-ethyl e cloransulam-methyl aplicados em pós-emergência, onde a atividade de inibição da P450 não esteve relacionada à resistência, e sim, a mutação do sítio alvo Pro-197-Ser do gene ALS (SILVA *et al.*, 2022b). Os inibidores para ALS no gênero *Echinochloa* envolve as posições de aminoácidos Ala-122, Pro-197 e Trp-574 (PANOZZO, 2021). Em plantas de *Amaranthus retroflexus* L. resistentes a tifensulfuron-metil, foi identificada a substituição da posição Asp-376-Glu no gene ALS, enquanto *Amaranthus hybridus* L. apresentou resistência cruzada a tifensulfuron-metil e imazamox, sendo encontrada mutação de ponto na posição Trp574 (MILANI; SCARABEL; SATTIN, 2019).

A evolução da resistência a herbicidas inibidores de ALS sobre *Amaranthus tuberculatus*, a partir de informações da estrutura populacional de biótipos geograficamente separados e sequenciamento do gene ALS, constatou-se a mutação de ponto de Trp574-Leu, o qual alguns biótipos resistentes foram dispersos do local de origem (MILANI *et al.*, 2021).

A resistência cruzada entre herbicidas inibidores de ALS está relacionada aos tipos de mutação do sítio alvo, por exemplo, as mutações Ala-122, Ser-653 e Gly-654 conferem resistência a herbicidas IMI, mas não às sulfonilureias (SU), enquanto a mutação Pro-197 confere resistência aos herbicidas SU e triazolpirimidinas (TP), no entanto as mutações Asp-376 ou Trp-574 fornecem resistência a todas as cinco famílias de herbicidas inibidores de AHAS (LI *et al.*, 2020).

Pesquisa com a espécie *Poa annua* L., a partir de ensaios da atividade de ALS in vitro com proteína recombinante e teste de planta inteira confirmaram que a substituição Ala-205-Phe conferiu resistência a herbicidas imidazolinona, sulfonilureia, triazolpirimidinas, sulfonilamino-carbonil-triazolinonas e pirimidinil-benzoato (BROSNAN *et al.*, 2016).

Foram realizados ensaios com *Apera spica-venti* sobreviventes após aplicação de inibidores de ALS, assim, uma mutação foi encontrada em uma população que codificava uma substituição de His em Arg 377 que é altamente conservado entre as enzimas do tipo selvagem conhecidas, e essa população apresentou resistência a sulfonilureias (SUs) e resistência cruzada a sulfonilaminocarbonil-triazolinonas (SCTs) e triazolpirimidinas (TPs) (MASSA; KRENZ; GERHARDS, 2011).

Rojano-Delgado *et al.* (2019), a partir de estudo sobre resistência de leiteiro, *Euphorbia heterophylla*, a imazamox, onde foram utilizados cinco grupos químicos diferentes de herbicidas inibidores de ALS, relatou que biótipos resistentes dessa planta daninha requerem elevadas concentrações do herbicida para reduzir a atividade enzimática em 50%. A mutação Ser-653-Asn foi encontrada no gene ALS desse biótipo resistente e os experimentos confirmaram o envolvimento da absorção e metabolização de imazamox na resistência da planta.

A frequência de populações de capim-arroz resistentes aos inibidores da ALS pode ser atribuída ao amplo uso de substâncias com esse mecanismo de ação (FANG *et al.*, 2020). Embora vários casos de resistência no capim-arroz sejam causados pelas mutações na enzima-alvo, como ALS, a maioria dos casos de resistência refere-se à melhoria da capacidade de desintoxicação do herbicida (DAMALAS; KOUTROUBAS, 2023). A mutação ALS na posição Phe-206-Leu conferiu resistência ao penoxsulam em capim-arroz em campos de arroz na China (FANG *et al.*, 2022).

Como visto anteriormente, o mecanismo não relacionado à mudança no sítio de ação pode estar relacionado à modificação de processos da planta daninha, por exemplo, absorção, translocação, sequestro e metabolização do herbicida aplicado, envolvendo genes que codificam enzimas específicas, como citocromo P450 monooxigenases (CYP450s) (JUGULAM; SHYAM, 2019). Os estudos com população de *E. crus-galli* resistente ao penoxsulam, herbicida inibidor de ALS, revelaram resistência múltipla baseada em mecanismos não relacionados à mudança no sítio de ação a cihalofop-butil e metamifop, e a partir disso utilizaram RNA-seq, caracterizando um gene P450 (CYP81A68) que metaboliza o penoxsulam e confere resistência metabólica a este e os demais herbicidas (PAN *et al.*, 2022). Essa descoberta de modo contíguo à descoberta do gene CYP81A em *E. phyllopogon* e *L. rigidum* (DIMAANO *et al.*, 2020; HAN *et al.*, 2021), expressa a evolução correlativa da resistência metabólica generalizada mediada pelo P450 a herbicidas em diferentes espécies de gramíneas.

Populações de *E. oryzicola* e *E. crus-galli* foram coletadas na Coreia do Sul e estudadas a partir de ensaio de dose resposta e da enzima ALS in vitro, tal que três grupos químicos diferentes foram utilizados com os herbicidas azimsulfuron, penoxsulam e bispyribac-sodium; assim, os valores de GR₅₀ diminuíram significativamente quando aplicados com o inibidor P450 sugerindo que a resistência cruzada dos inibidores de ALS para esses herbicidas está relacionada ao aumento do metabolismo (SONG *et al.*, 2017).

Foram coletadas populações de *E. crus-galli* em arrozais da China e foi investigada a resistência a inibidor da ALS (penoxsulam) e inibidor da ACCase (cyhalofop-butyl), sendo que 8 das 12 populações submetidas ao tratamento mostraram resistência ao herbicida penoxsulam e uma mutação Trp-574-Leu, levando à conclusão de que os mecanismos baseados em locais não-alvo estejam envolvidos na resistência de *E. crus-galli* aos herbicidas envolvidos (YANG *et al.*, 2021). MicroRNAs previamente descritos em outras espécies de plantas foram selecionados com base em sua alta complementaridade com mRNAs alvo de proteínas conhecidas por estarem envolvidas na desintoxicação do bispyribac-sodium e não testadas anteriormente em *E. crus-galli*, novamente, os mecanismos não relacionados à mudança do sítio de ação herbicida (CUSARO *et al.*, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL, SUBSTRATO E ADUBAÇÃO

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação (Figura 2) do Laboratório de Plantas Daninhas e Herbicidas (Lab PD&H), nas dependências da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV); a 27°47'34" S e 50°18'05" O e 904 m de altitude. Os ensaios consistiram em duas etapas: experimento 1 (período de outubro de 2021 a dezembro de 2022) e experimento 2 (janeiro a fevereiro de 2022).

Figura 2 - Local de condução dos experimentos em casa de vegetação na Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC.



Fonte: Google Earth (2022).

Em todos os experimentos utilizou-se substrato inerte que recebeu adubação mineral com NPK na dose de 300 kg ha^{-1} (5-25-20) e ureia ($45-0-0$) na dose de 120 kg ha^{-1} de N.

Os tratamentos dos dois experimentos foram aplicados com um pulverizador costal pressurizado a CO_2 , taxa de aplicação de 200 L ha^{-1} , pressão de trabalho de 207 kPa, velocidade de $1,0 \text{ m s}^{-1}$, vazão de $0,6 \text{ L min}^{-1}$, espaçamento entre bicos de 0,5 m e ponta jato plano AD 110 02.

3.2 EXPERIMENTO 1

O experimento 1 foi conduzido com a utilização de sementes de biótipos de capim-arroz coletadas em diferentes regiões orizícolas de Santa Catarina. As sementes foram submetidas à secagem em estufa de circulação de ar a temperatura constante de 40°C durante 7 dias para superação da dormência (MAPA, 2009). Após a superação da dormência as sementes foram colocadas para germinar na profundidade de 0 a 2 cm em bandejas com capacidade de 4 L.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), avaliando-se a sensibilidade de 28 biótipos de capim-arroz coletados em diferentes municípios catarinenses (Tabela 1). Cada biótipo representou um tratamento com 3 repetições. Em cada repetição foram mantidas de 30 a 50 plantas. As sementes de capim-arroz foram coletadas a

campo, entre os meses de fevereiro a abril em 2020 e 2021, em áreas comerciais de produção de arroz irrigado, em reboleiras de escapes de controle de capim-arroz. Em cada localidade foram coletadas as sementes de 30 a 50 plantas e o biótipo foi representado pela amostra composta dessas coletas.

Tabela 1 - Biótipos de capim-arroz e seus respectivos municípios de coleta em lavouras comerciais de arroz irrigado. Lages, SC, 2021/2022.

Biótipos	Município	Latitude	Longitude	Região
CA01	Paulo Lopes	27° 55' 15,68" S	48° 39' 22,53" O	Metropolitana
CA04	Paulo Lopes	27° 55' 13,30" S	48° 39' 21,12" O	
CA05	Palhoça	27° 53' 55,46" S	48° 41' 14,38" O	
CA0421	Palhoça/Paulo Lopes	27° 55' 15,68" S	48° 39' 21,77" O	
CA0421*	Paulo Lopes	27° 55' 46,63" S	48° 39' 44,45" O	
CA02	Içara	28° 43' 21,64" S	49° 13' 12,46" O	Litoral Sul
CA03	Turvo	28° 57' 15,09" S	49° 45' 13,58" O	
CA06	Imaruí	28° 07' 59,50" S	48° 45' 13,52" O	
CA07	Tubarão	28° 30' 06" S	49° 01' 42" O	
CA08	Tubarão	28° 30' 55,91" S	49° 00' 25,58" O	
CA09	Ermo	29° 00' 56,66" S	49° 38' 19,77" O	
CA10	Praia Grande	29° 14' 09,9" S	49° 54' 05,6" O	
CA11	Tubarão	28° 33' 56,36" S	48° 57' 34,19" O	
CA12	Tubarão	28° 27' 08,97" S	48° 59' 41,84" O	
CA0221	Içara	28° 42' 55,48" S	49° 13' 00,04" O	
CA0321	Turvo/Jacinto Machado	28° 57' 10,23" S	49° 45' 15,58" O	
CA0821	Tubarão	28° 30' 59,32" S	49° 00' 33,24" O	
CA0821*	Imbituba	28° 10' 49,49" S	48° 43' 49,75" O	
CA0921	Ermo	29° 00' 50,89" S	49° 38' 32,27" O	
CA13	Rio do Campo	26° 55' 53,11" S	50° 07' 47,95" O	Alto Vale do Itajaí
CA14	Taió	24° 03' 41,20" S	50° 14' 49,44" O	
CA15	Rio do Oeste	27° 11' 37,85" S	49° 54' 17,62" O	
CA16	Pouso Redondo	27° 12' 14,63" S	49° 53' 06,51" O	
CA1B	Pouso Redondo			
CA2B	Rio do Campo			
CA3B	Rio do Oeste			
CA4B	Taió			
CA17	Massaranduba			Litoral Norte

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A aplicação dos tratamentos foi realizada quando as plantas atingiram o estágio de 2 a 4 folhas completamente expandidas. O herbicida aplicado foi a mistura formulada de imazapyr + imazapic (Kifix[®], formulação WG, inibidor de acetolactato sintase e grupo químico imidazolinonas) na dose de 73,5 + 24,5 g i.a. ha⁻¹ (140 g p.c. ha⁻¹), utilizou-se óleo mineral

(0,5% v v⁻¹) como adjuvante. A aplicação foi conduzida em 16 de novembro de 2021, sob temperatura de 17°C, 73,2% UR com medição do vento em 0,6 km h⁻¹.

As variáveis avaliadas foram eficiência de controle (%) e taxa de sobrevivência (%) aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA). Para a avaliação do controle de plantas daninhas adotou-se uma escala visual de notas (Tabela 2), onde a nota 0% significa que não houve ação do herbicida sobre a planta daninha, e o alvo continua verde, sem sintomas de despigmentação ou necrose. A nota 100% representam a morte dos tecidos da planta (KUVA; SALGADO; REVOREDO, 2016). As plantas foram classificadas como sobreviventes quando estavam produzindo novas folhas verdes (sem sintomas) e crescimento ativo após o tratamento (NEVE; POWLES, 2005).

Tabela 2 - Escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas submetidas a tratamento herbicida.

Faixa de controle (%)	Nível de controle
91 – 100	Excelente
81 – 90	Muito bom
71 – 80	Bom
61 – 70	Suficiente
41 – 60	Regular
00 - 40	Pobre

Fonte: Adaptado de Kuva, Salgado e Revoredo (2016).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA $p < 0,05$) pelo teste F, e quando significativo, foi submetido ao teste Tukey ($p < 0,05$) a fim de comparar as médias obtidas em nível de 5% de probabilidade de erro.

3.3 EXPERIMENTO 2

Ao final do experimento 1, vinte e um biótipos de capim-arroz foram selecionados devido à baixa eficiência de controle (<50%) e alta taxa de sobrevivência (>60%). Esses biótipos foram selecionados para o ensaio de dose resposta para confirmação e caracterização da resistência aos herbicidas inibidores da ALS.

Os biótipos foram semeados em copos plásticos com capacidade de 0,5 dm³, perfurados no fundo para escoamento do excesso de água e preenchidos com substrato inerte. Após a

estabilização da emergência realizou-se o raleio e manteve-se a densidade de quatro plantas por unidade experimental.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições. Os tratamentos foram organizados em arranjo fatorial 3 x 8 x 21, onde foram avaliados três herbicidas inibidores de ALS – imazapyr + imazapic (Kifix, WG, BASF), penoxsulam (Ricer, SC, Corteva) e bispyribac sodium (Nominee, SC, Ihara); grupo químico imidazolinonas, triazolpirimidinas e pyrimidil-benzoatos, respectivamente. Cada herbicida foi aplicado em oito doses: 0; 0,25; 0,50; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00 e 16,00 vezes a dose recomendada. A dose recomendada utilizada foi de 73,50 + 24,50 g i.a. ha⁻¹ (140 p.c. ha⁻¹), 48 g i.a. ha⁻¹ (250 mL p.c. ha⁻¹) e 80 g i.a. ha⁻¹ (125 mL p.c. ha⁻¹), respectivamente, para imazapyr + imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium. Ao todo 21 biótipos de capim-arroz foram submetidos aos tratamentos, a identificação de cada biótipo, município de coleta e localização está detalhado na Tabela 3.

Tabela 3 - Biótipos submetidos ao experimento 2 com aplicação dos herbicidas imazapyr+imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium, em Lages, SC.

(continua)				
Biótipos	Município	Latitude	Longitude	Região
CA01	Paulo Lopes	27° 55' 15,68" S	48° 39' 22,53" O	Metropolitana
CA04	Paulo Lopes	27° 55' 13,30" S	48° 39' 21,12" O	
CA05	Palhoça	27° 53' 55,46" S	48° 41' 14,38" O	
CA0421*	Paulo Lopes	27° 55' 46,63" S	48° 39' 44,45" O	
CA02	Içara	28° 43' 21,64" S	49° 13' 12,46" O	Litoral Sul
CA06	Imaruí	28° 07' 59,50" S	48° 45' 13,52" O	
CA07 (S)	Tubarão	28° 30' 06" S	49° 01' 42" O	
CA09	Ermo	29° 00' 56,66" S	49° 38' 19,77" O	
CA10	Praia Grande	29° 14' 09,9" S	49° 54' 05,6" O	
CA11	Tubarão	28° 33' 56,36" S	48° 57' 34,19" O	
CA12	Tubarão	28° 27' 08,97" S	48° 59' 41,84" O	
CA0321	Turvo/Jacinto Machado	28° 57' 10,23" S	49° 45' 15,58" O	
CA0821	Tubarão	28° 30' 59,32" S	49° 00' 33,24" O	
CA13	Rio do Campo	26° 55' 53,11" S	50° 07' 47,95" O	
CA14	Taió	24° 03' 41,20" S	50° 14' 49,44" O	
CA16	Pouso Redondo	27° 12' 14,63" S	49° 53' 06,51" O	
CA1B	Pouso Redondo			
CA2B	Rio do Campo			
CA3B	Rio do Oeste			
CA4B	Taió			Litoral Norte
CA17	Massaranduba			

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A aplicação dos tratamentos foi realizada em 26 de fevereiro de 2022, sob temperatura de 30°C, 88% UR com medição do vento em 0,3 km h⁻¹, no estádio vegetativo das plantas de 2 a 4 folhas totalmente expandidas.

As variáveis avaliadas foram: avaliação visual de eficiência de controle (%) aos 7, 14 e 28 DAA, taxa de sobrevivência (%) aos 28 DAA e massa seca da parte aérea aos 28 DAA. A eficiência de controle e sobrevivência foram avaliados seguindo os mesmos critérios descritos no ensaio preliminar. Para determinação da matéria seca de parte aérea (MSPA), as plantas foram cortadas no nível do substrato dos copos plásticos e armazenadas em sacos de papel identificados.

O experimento 2 com a aplicação do herbicida sobre a planta inteira, permite a caracterização quantitativa da resistência pela determinação de variáveis diretas, entre elas, DL₅₀ e matéria seca (CONCENÇO; MELO; FERREIRA et al, 2008). Desse modo, a resistência foi confirmada a partir da diferença estatística entre os biótipos aparentemente resistentes e o (s) sensível (eis), a partir das doses que promoveram controle de 50% e 80% (DL50 e DL80):

$$FR = \frac{DL50 \text{ ou } DL80 \text{ (resistente)}}{DL 50 \text{ ou } DL80 \text{ (sensível)}}$$

A dose que viabilizou 50% e 80% de redução de acúmulo de biomassa da parte aérea das plantas (GR50 e GR80), foi definido o fator de resistência estabelecido pela fórmula:

$$FR = \frac{GR 50 \text{ ou } GR80 \text{ (resistente)}}{GR 50 \text{ ou } GR80 \text{ (sensível)}}$$

Assim, a resistência foi comprovada quando FR foi maior que 1,0 (FR>1,0) e a dose recomendada do herbicida apresentou controle menor que 80%. Os resultados de controle foram submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0:

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b} \quad y = \frac{ax}{b + x}$$

Onde y é a variável dependente, x é a variável independente e a , b e x_0 são parâmetros do modelo logístico (EBERHARDT et al., 2016). Assim, a representa controle máximo, b é o ponto de inflexão e x_0 demonstra 50% de controle.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO 1

Os biótipos CA0421* (divisa entre Palhoça e Paulo Lopes), CA07 (Tubarão) e CA15 (Rio do Oeste) apresentaram taxa de sobrevivência menor que 40% e eficiência de controle igual ou superior a 88% (Tabela 4), portanto, foram considerados biótipos sensíveis ao imazapyr + imazapic. O biótipo CA13, coletado no município de Rio do Campo, apresentou resultado contrastante entre sobrevivência e controle, com porcentagem de plantas sobreviventes de apenas 8,6% e o controle de 28,3% (Tabela 4). Esse contraste pode ser justificado devido à ausência de controle nas plantas sobreviventes, que continuaram o crescimento normalmente chegando aos 28 DAA sem nenhuma injúria visual de controle.

Os biótipos CA0321 (divisa entre Turvo e Jacinto Machado), CA0421* (Paulo Lopes) e CA06 (Imaruí) destacaram devido a taxa de sobrevivência de 100%. Essa variável foi o principal fator na seleção dos biótipos para o ensaio de dose resposta. O biótipo CA06 não pode ser utilizado nas etapas subsequentes devido à ausência de germinação. As sementes possivelmente se tornaram inviáveis pelo tempo decorrido da coleta até a utilização.

Os demais biótipos apresentaram sobrevivência oscilando de 59,3% a 100,0% e controle de 0,0% a 45,6%, indicando uma baixa sensibilidade à mistura formulada de imazapyr + imazapic (Tabela 4).

Tabela 4 - Avaliação de sobrevivência (%) e controle (%) dos biótipos de capim-arroz aos 28 DAA, em Lages, SC.

Biótipo	Sobrevivência (%)	Controle (%)
CA01	75,6	0,0
CA02	73,6	4,6
CA03	75,3	0,0
CA0321	100,0	0,0
CA04	71,6	18,3
CA0421	7,3	94,3
CA0421*	100,0	2,3
CA05	69,0	0,0
CA06	100,0	0,0
CA07	3,0	97,6
CA08	66,3	13,6
CA0821	69,3	2,3
CA0821*	76,6	1,0
CA09	60,6	0,0
CA0921	83,6	0,0
CA10	60,6	34,6
CA11	71,0	0,0
CA12	59,3	15,0
CA13	8,6	28,3
CA14	81,0	8,0
CA15	36,6	88,0
CA16	68,6	5,6
CA17	85,3	4,3
CA1B	91,0	0,0
CA2B	76,6	45,6
CA3B	70,0	7,0
CA4B	72,3	3,6

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A partir destes resultados selecionou-se os biótipos CA01, CA02, CA0321, CA0421*, CA05, CA07 (S), CA0821, CA09, CA10, CA11, CA12, CA14, CA16, CA17, CA1B, CA2B,

CA3B, CA4B e CA13 para o ensaio de dose resposta para confirmação da resistência aos herbicidas imazapyr + imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium.

4.2 EXPERIMENTO 2

A maioria dos biótipos de capim-arroz tiveram a resistência à mistura formulada de imazapyr + imazapic confirmada no ensaio de dose resposta, de 19 biótipos 17 conciliaram $FR > 1,0$ e $DL80 > 73,50 + 24,50$ g i.a. ha^{-1} , ou seja, a resistência está presente em 89,5% dos biótipos estudados (Tabela 5). Os biótipos S (CA07) e CA13 foram suscetíveis ao imazapyr + imazapic, ressalta-se que embora o biótipo CA13 tenha apresentado FR de 7,7 a DL80 ficou abaixo da dose recomendada, o que confirma a suscetibilidade do biótipo do ponto de vista agrônomo (Tabela 5). Esses resultados indicam ampla disseminação da resistência de capim-arroz a imazapyr + imazapic em Santa Catarina, com ocorrência de biótipos resistentes em todas as regiões orizícolas.

As plantas dos biótipos S e CA13 tiveram a suscetibilidade ao herbicida imazapyr + imazapic confirmada pela variável de crescimento massa seca da parte aérea (Tabela 6). Os biótipos CA14, CA1B e CA2B apresentaram fator de resistência superior a 1,0, indicando diferença estatística na sensibilidade às imidazolinonas, em relação ao biótipo S; todavia a dose recomendada da mistura formulada promoveu redução do acúmulo de massa seca da parte aérea superior a 80% ($GR80$ menor que $73,5 + 24,5$ g i.a. ha^{-1}). Desta forma, pelos critérios agrônômicos, não se pode afirmar que estes biótipos sejam resistentes ao imazapyr + imazapic (Tabela 5).

Os outros biótipos atenderam os critérios matemáticos e agrônômicos e foram considerados resistente ao imazapyr + imazapic (Tabela 5). Os biótipos CA0321, CA09 e CA17 apresentaram FR superior a 5.600, pois não foi possível estimar a GR50, indicando o alto nível da resistência. A variável massa seca da parte aérea confirmou a ampla disseminação da resistência de capim-arroz a imazapyr + imzapic em Santa Catarina.

Tabela 5 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de imazapyr+imazapic aos 28 dias após aplicação (DAA), Lages, SC.

(continua)

Biótipo	Controle (%)			
	Imazapyr + imazapic			
	DL50 (g i.a ha ⁻¹)	DL80 (g i.a ha ⁻¹)	Cmáx	FR
S	0,278 + 0,093	1,141 + 0,380	99,10	-
CA14	62 + 20	192,5 + 64,1	91,42	223
CA0421*	466 + 155	735 + 245	84,75	1676
CA0321	>1176 + 392	>1176 + 392	0,00	>4230
CA01	786 + 262	>1176 + 392	62,28	2827
CA02	-	-	57,75	>4230
CA05	837 + 279	>1176 + 392	71,23	3010
CA0821	>1176 + 392	>1176 + 392	24,69	>4230
CA09	>1176 + 392	>1176 + 392	7,00	>4230
CA10	205 + 68	808 + 269	84,64	737
CA11	>1176 + 392	>1176 + 392	35,00	>4230
CA12	>1176 + 392	>1176 + 392	20,75	>4230
CA13	2,13 + 0,71	9,56 + 3,19	97,00	7,7
CA16	242 + 80	> 242 + 80	0,13	978
CA17	>1176 + 392	>1176 + 392	9,50	>4230
CA1B	69 + 23	477 + 159	89,99	248
CA2B	132 + 44	> 1176 + 392	79,43	474
CA3B	889,4 + 296,4	>1176 + 392	55,0	3199
CA4B	-	-	21,60	>4230
Biótipo	MSPA (g/vaso)			
	Imazapyr + imazapic			
	DL50 (g i.a ha ⁻¹)	DL80 (g i.a ha ⁻¹)	-	FR
S	0,21 + 0,07	0,82 + 0,27	-	-
CA14	26,16 + 8,72	69,09 + 23,03	-	124,6
CA0421*	253,57+84,52	415,42 + 138,47	-	1207,5
CA0321	>1176 + 392	>1176 + 392	-	>5600
CA01	330,75 +110,25	808,50 + 269,50	-	1575
CA02	198,45 + 66,15	407,75 + 135,95	-	945
CA05	109,51 +36,50	335,89 + 111,96	-	521,5
CA0821	116,86 + 38,95	687,96 + 229,32	-	556,5
CA09	>1176 + 392	>1176 + 392	-	>5600
CA10	29,32 + 9,77	213,88 + 71,29	-	39,6
CA11	448,35 + 149,45	1580,25 + 526,75	-	2135
CA12	104,37 + 34,79	554,19 + 184,73	-	497
CA13	0,0221 + 0,0074	0,0413 + 0,0138	-	0,11
CA16	9,48 + 3,16	184,77 + 61,59	-	45,1
CA17	>1176 + 392	>1176 + 392	-	>5600

Tabela 5 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de imazapyr+imazapic aos 28 dias após aplicação (DAA), Lages, SC.

(conclusão)

Biótipo	MSPA (g/vaso)			FR
	DL50 (g i.a. ha ⁻¹)	DL80 (g i.a ha ⁻¹)	-	
CA1B	35,90 + 11,96	66,29 + 22,09		171
CA2B	0,4998 + 0,1666	10,51 + 3,50		2,38
CA3B	72 + 24	290,3 + 94,3		342,9
CA4B	449,82 + 149,94	>1176 + 392		2142

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

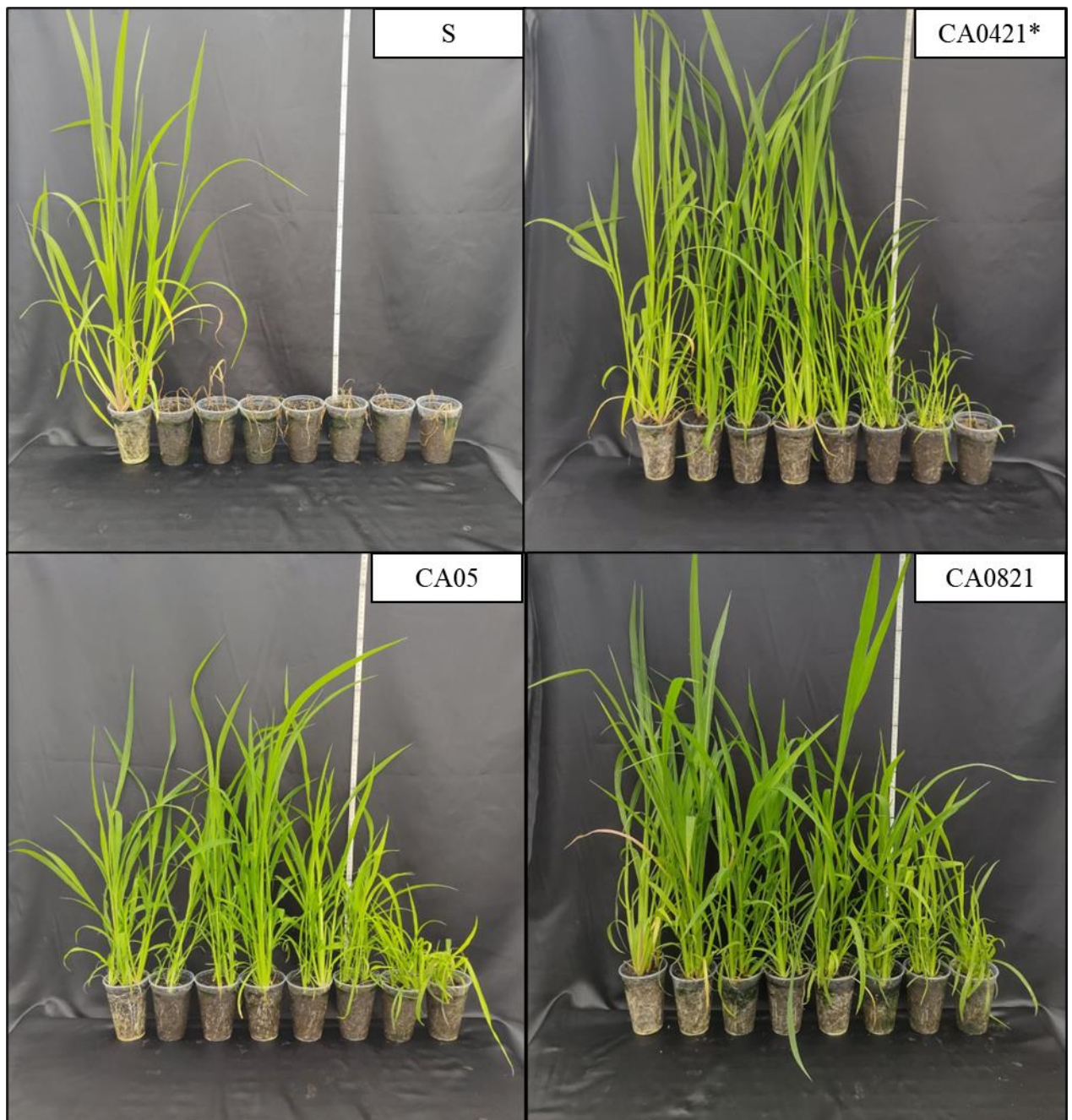
A exposição recorrente a uma dose subletal de imazapic + imazapyr, associada estresse abiótico, reduz a suscetibilidade de plantas do gênero *Echinochloa* spp. aos herbicidas imidazolinonas. (BENEDETTI *et al.*, 2021). A mistura formulada de imazapic + imazapyr é um herbicida sistêmico seletivo do grupo químico das imidazolinonas, recomendado para o controle de capim-arroz no sistema de arroz irrigado CL[®] (BASF, 2023). Motivo pelo qual há quantidade considerável de estudos de casos de resistência desse herbicida na realidade de arrozeiras catarinenses, avaliando-se a viabilidade de continuidade no uso do mesmo.

No estudo de Huang *et al.* (2022), a dose recomendada de campo de vários herbicidas inibidores de ALS foi usada para testar a resistência cruzada em populações resistentes de *Cyperus difformis*, sendo que duas delas apresentaram resistência cruzada a sulfonilureia (SU, pirazosulfuron) e imidazolinona (IMI, imazapic), enquanto outras duas apresentaram resistência cruzada a SU (pyrazosulfuron), triazolopirimidina (TP, penoxsulam) e IMI (imazapic). Corroborando com os resultados de dose resposta dos biótipos CA14 e CA17, resistentes ao grupo IMI e TP.

Esses resultados levantaram à hipótese de que a resistência possa estar relacionada a um mecanismo de resistência não relacionado à mudança no sítio de ação do herbicida, e ainda a processos fisiológicos, como uma lesão aumentada com as maiores taxas de imazapyr + imazapic para o biótipo resistente ao capim-arroz pode indicar uma pista para o mecanismo de resistência envolvido, sugerindo que o mecanismo de resistência dos biótipos seja o aumento da metabolização do herbicida, o que não pode ser afirmado como o único mecanismo

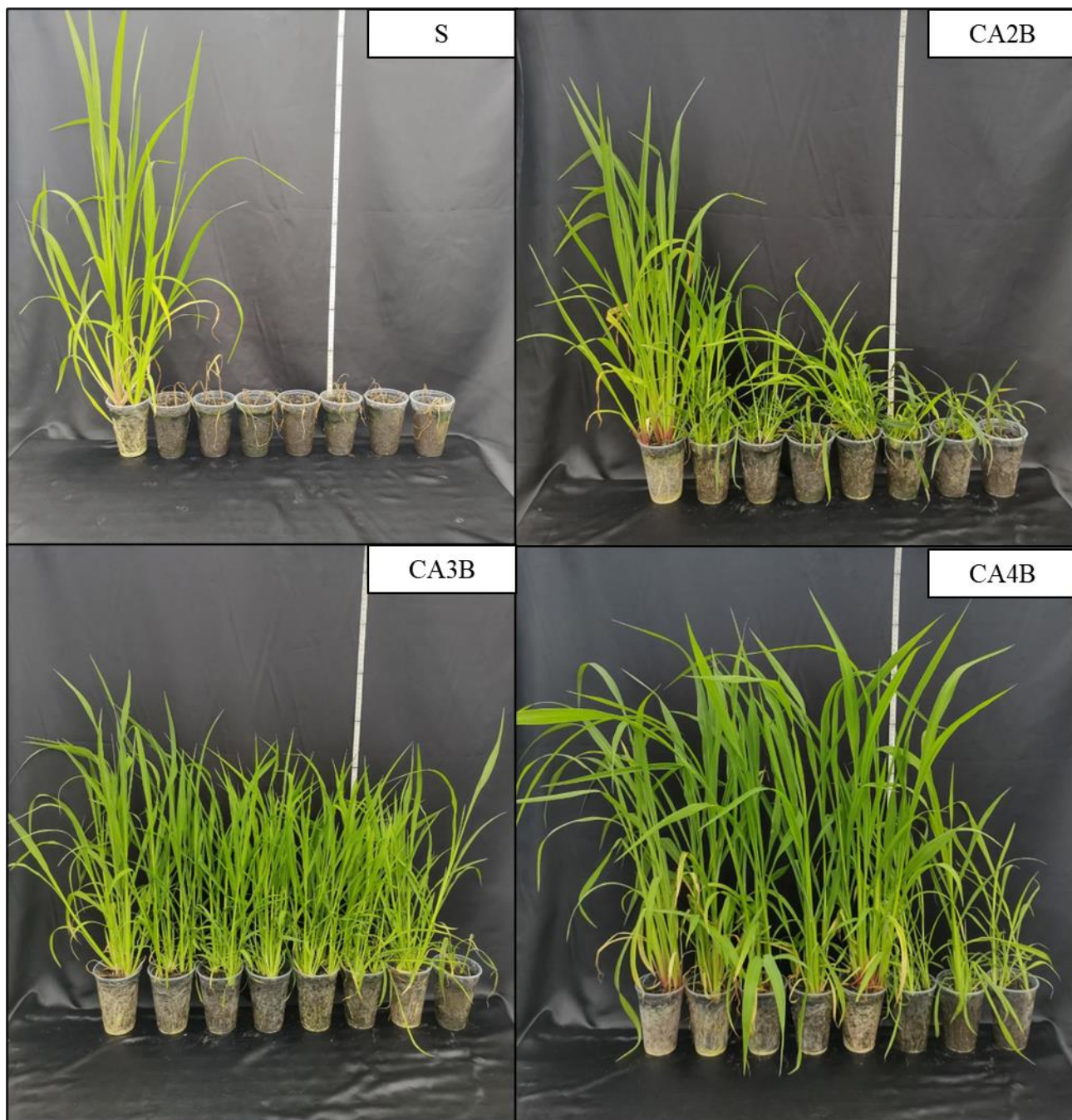
envolvido (AGOSTINETTO *et al*, 2023). Tal que os biótipos resistentes selecionados foram submetidos ao ensaio de inibição da P450 afim de atestar a hipótese.

Figura 3 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula da mistura formulada herbicida imazapyr + imazapic (140 g p.c. ha⁻¹), aos 28 DAA em Lages, SC.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Figura 4 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula da mistura formulada herbicida imazapyr + imazapic (140 g p.c. ha⁻¹), aos 28 DAA em Lages, SC.

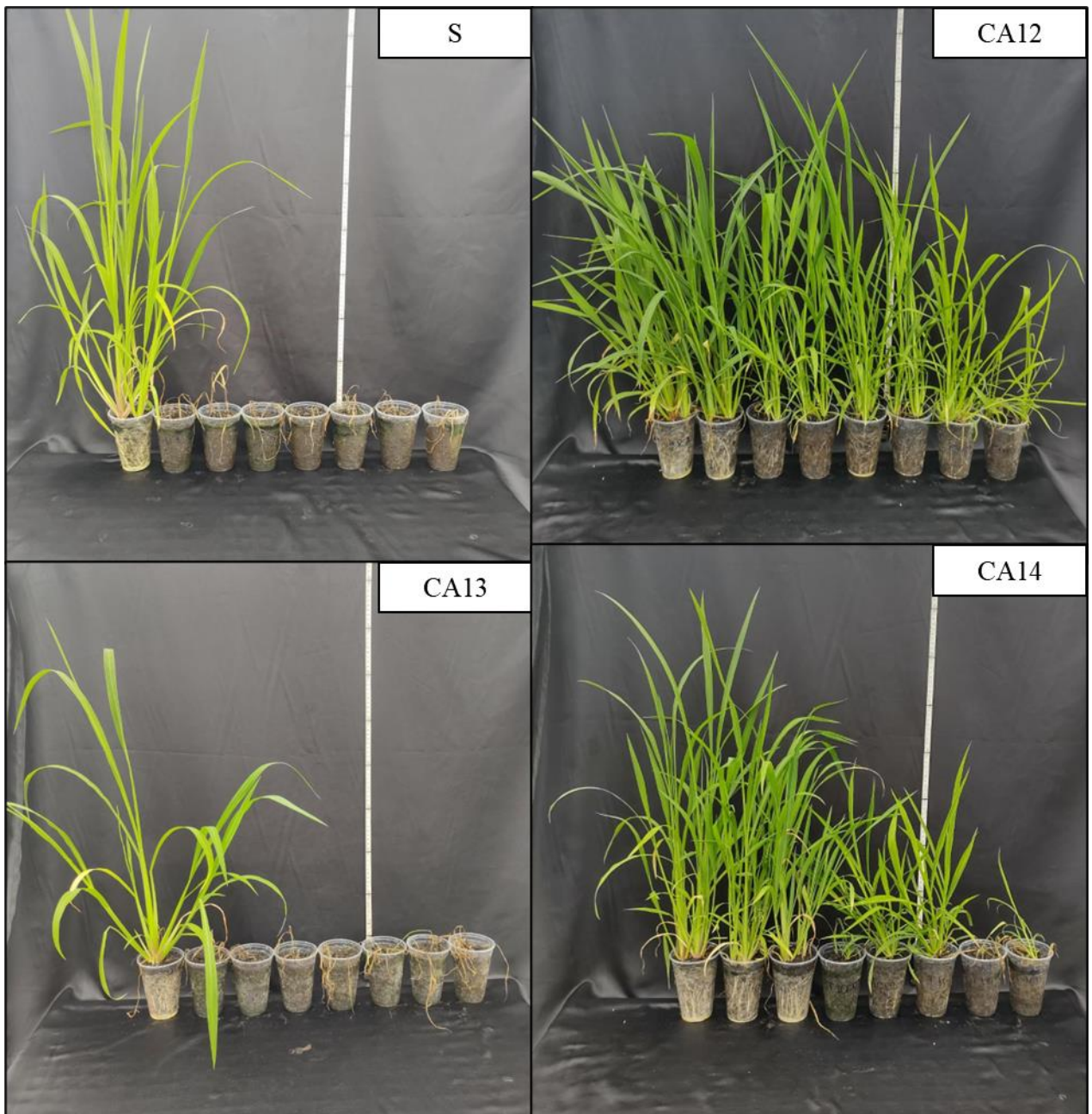


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A figura 3 exprime os resultados de resistência dos biótipos CA0421*, CA05 e CA0821, os quais obtiveram $FR > 1,0$. Bem como, a figura 4 revela o mesmo comportamento de desenvolvimento contínuo dos biótipos CA2B, CA3B e CA4B, após aplicação de 8 doses

distintas da mistura formulada imazapyr + imazapic, enquanto o biótipo sensível foi controlado com dose maior ou igual a 0,25 vezes a dose recomendada.

Figura 5 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula da mistura formulada herbicida imazapyr + imazapic (140 g p.c. ha⁻¹), aos 28 DAA em Lages, SC.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A Figura 5 evidencia a suscetibilidade do biótipo CA13 perante demais biótipos submetidos ao tratamento herbicida imazapyr + imazapic, a oito doses distintas da mistura formulada herbicida imazapyr + imazapic. Comparativamente ao biótipo CA12 e CA14, mantiveram seu crescimento vegetativo após aplicação da mistura formulada imazapyr + imazapic, embora o aumento das doses tenha mostrado efeito no controle das plantas.

A maioria dos biótipos de capim-arroz tiveram a resistência confirmada no ensaio de dose resposta ao herbicida penoxsulam, entre os 19 biótipos submetidos ao ensaio de dose resposta 17 biótipos obtiveram $FR > 1,0$ e $DL80 > 48$ g i.a. ha^{-1} como recomendado em bula, ou seja, a resistência está presente em 89,5% dos biótipos estudados (Tabela 6). Os biótipos S (CA07) e CA13 foram suscetíveis ao penoxsulam, ressalta-se que o biótipo CA13 apresentou $FR < 1,0$ e a DL80 ficou abaixo da dose recomendada, o que confirma a suscetibilidade do biótipo ao herbicida. O biótipo CA14 embora tenha exposto $FR > 1,0$ sua DL80 foi abaixo da dose recomendada demonstrando sua suscetibilidade. Curiosamente, o biótipo CA0421* exibiu $FR > 1,0$ enquanto sua DL80 foi de 25,4 g i.a. ha^{-1} , abaixo da dose herbicida recomendada em bula. Esses resultados indicam ampla disseminação da resistência de capim-arroz ao penoxsulam em Santa Catarina, com ocorrência de biótipos resistentes em todas as regiões orizícolas.

Os resultados para a variável massa seca da parte aérea corroboraram com o controle 28 DAA, confirmando que os biótipos S, CA13, CA14 e CA0421* não são resistentes ao penoxsulam (Tabela 6). Em contrapartida, os biótipos CA0321, CA02, CA09 e CA17 apresentaram alto nível de resistência ao penoxsulam, com FR superior a 4800.

Tabela 6 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de penoxsulam 28 dias após aplicação (DAA) em Lages, SC.

(continua)

Biótipo	Controle (%)			
	Penoxsulam			
	DL50 (g i.a. ha^{-1})	DL80 (g i.a. ha^{-1})	Cmáx	FR
S	0,43152	1,7184	100	-
CA14	1,872	7,536	99,5	4,3
CA0421*	2,59	25,4	85,5	6,0
CA0321	>768	>768	21,3	>1780
CA01	69,1	288	89,3	160

Tabela 6 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de penoxsulam 28 dias após aplicação (DAA) em Lages, SC.

(conclusão)

Controle (%)				
Biótipo	Penoxsulam			
	DL50 (g i.a ha ⁻¹)	DL80 (g i.a ha ⁻¹)	Cmáx	FR
CA02	>768	>768	35,7	>1780
CA05	272,112	422,4	88,4	631
CA0821	>768	>768	12,7	>1780
CA09	>768	>768	21,7	>1780
CA10	288	3456	80,0	667
CA11	883,2	>768	59,7	2047
CA12	>768	>768	35,0	>1780
CA13	0,43	1,73	100,0	0,99
CA16	580,8	>768	53,3	1346
CA17	>768	>768	0,0	>1780
CA1B	78,72	>768	78,7	182
CA2B	18,72	>768	76,0	43,4
CA3B	13,44	>768-	74,9	31,3
CA4B	>768	>768	20,3	>1780
MSPA (g/vaso)				
Biótipo	Penoxsulam			
	GR50 (g i.a ha ⁻¹)	GR80 (g i.a ha ⁻¹)	-	FR
S	0,16	0,63	-	-
CA14	19,56	19,96	-	122,3
CA0421*	0,93	8,49	-	5,8
CA0321	>768	>768	-	>4800
CA01	128,16	503,04	-	801
CA02	>768	>768	-	>4800
CA05	38,64	483,36	-	241,5
CA0821	472,44	>768	-	2952,8
CA09	>768	>768	-	>4800
CA10	56,64	2191,20	-	354
CA11	122,88	>768	-	768
CA12	217,92	647,50	-	1362
CA13	0,19	0,79	-	1,2
CA16	131,2	>768	-	820
CA17	>768	>768	-	>4800
CA1B	183,79	192,64	-	1148,7
CA2B	56,64	6,816	-	354
CA3B	266,83	>768	-	1167,7
CA4B	266,64	>768	-	1666,5

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

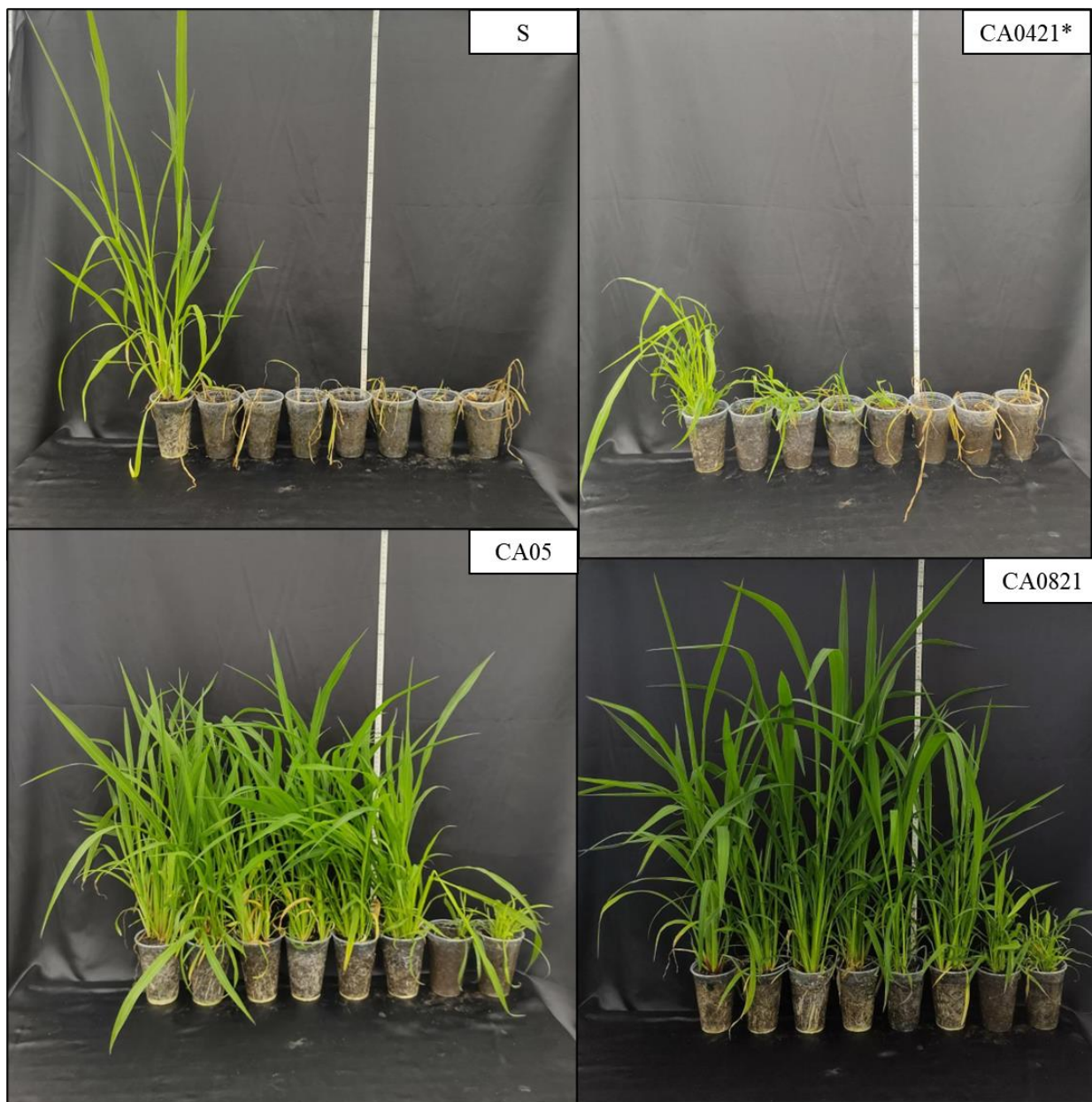
Em ecossistemas manejados, as plantas daninhas são expostas à intensa pressão de seleção ao controle químico, resultando em biótipos com uniformidade genética e morfológica (BAUCOM, 2019). Os herbicidas de pós-emergência mais amplamente utilizados para controlar o gênero *Echinochloa* spp. são penoxsulam, metamifop e quinclorac, que pertencem aos herbicidas inibidores de ALS, inibidores de ACCase e auxinas sintéticas, respectivamente, entretanto, a resistência a esses herbicidas evoluiu (FANG *et al.*, 2019b). Amostras de *E. crus-galli* foram coletadas com suspeita de resistência ao herbicida penoxsulam, as quais apresentaram resistência 7,3 e 33 vezes maior quando comparadas com populações suscetíveis ao herbicida em estudo, assim, os biótipos CA02, CA0321, CA0821, CA09, CA12, CA17 e CA4B, demonstraram resistência alta ao herbicida (FANG *et al.*, 2019a). É fundamental entender a interação entre biótipos de capim-arroz resistentes e suscetíveis à aplicação de herbicida penoxsulam a fim de compreender a coexistência, evolução e mecanismos desses biótipos e suas consequências nos sistemas de cultivo. A partir de um sistema de capim-arroz resistente e suscetível ao penoxsulam, encontrou-se interações diferenciais observadas em vários níveis de parentesco, indicando reconhecimento de parentesco de capim-arroz resistente a penoxsulam no nível do biótipo. A evidência direta foi que, quando cultivado com capim-arroz suscetível ao penoxsulam, houve crescimento e distribuição de raízes reduzidos, diminuindo a competição abaixo do solo e florescimento avançado, bem como, aumento da produção de sementes, aumentando a eficácia reprodutiva. Essa informação sugere que o controle máximo abaixo de 40%, constatado nos biótipos CA02, CA0821, CA09 e CA12, pode ser explicado por terem sido coletados na mesma região, Litoral Sul.

De acordo com o experimento 2 de plantas inteiras de *Eragrostis japonica* (Thunb.) Trin., nenhuma das 29 populações foi sensível ao penoxsulam, contudo, o estudo mostrou que os valores de dose efetiva de penoxsulam causando 50% de inibição do peso fresco (GR50: 105,14 a 148,78 g ia ha⁻¹) nessa planta daninha foram muito maiores do que a taxa de rotulagem de penoxsulam (15 a 30 g ia ha⁻¹) no campo sendo necessária uma concentração muito maior do que para controlar *E. crus-galli* (LIU *et al.*, 2022). Compreende-se assim, que GR50 dos biótipos CA0421*, CA05, CA14 e CA2B necessitaram menos que a dose recomendada (48 g ia ha⁻¹) para serem controlados.

Populações de *E. crus-galli* apresentaram resistência ao penoxsulam em arrozais da China (YANG *et al.*, 2021), assim como o presente estudo confirma a resistência de três biótipos de capim-arroz na região do Alto Vale do Itajaí e Litoral Norte catarinense. Takano *et al.* (2023) em estudo, a partir de espectrometria de massa de alta resolução, compararam dois biótipos resistentes com plantas suscetíveis conhecidas quanto à sua capacidade de metabolizar

florpirauxifen-benzil (auxina sintética), florpirauxifen-ácido e penoxsulam *in planta*. Assim, foi descoberto que as plantas resistentes compartilham um mecanismo de resistência comum aos herbicidas florpirauxifen-benzil e ao penoxsulam, envolvendo a hidrólise de um grupo metoxi, o que levantou a suposição da mediação pelo citocromo P450 monooxigenase; hipótese também levantada por esse estudo o qual foi realizado pelo ensaio de inibição da P450 com os biótipos resistentes nesse ensaio de dose resposta. Porém, foi constatada a resistência aqui a herbicidas de mesmo mecanismo de ação, ou seja, resistência cruzada.

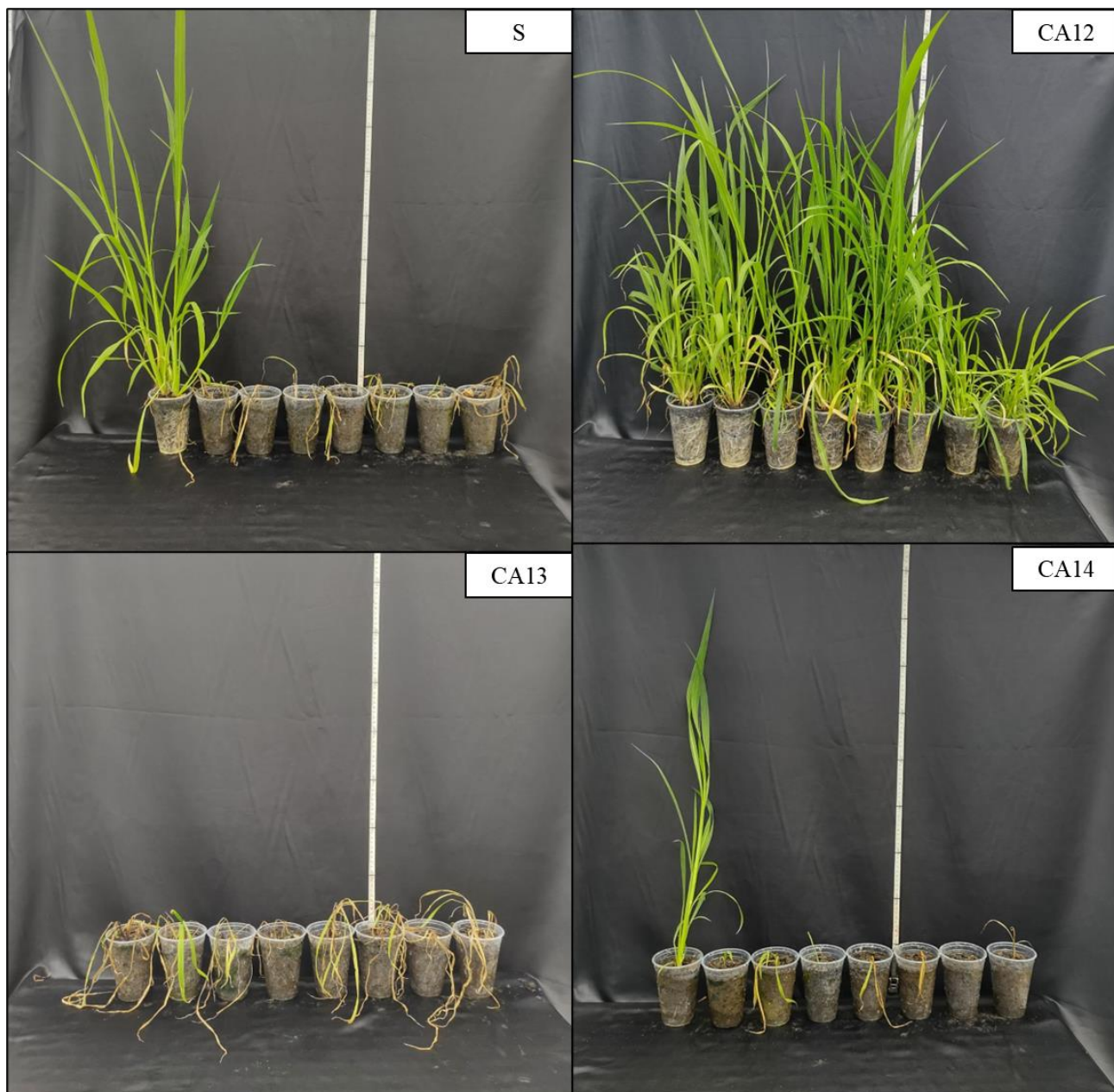
Figura 6 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida penoxsulam ($250 \text{ mL p.c. ha}^{-1}$), aos 28 DAA em Lages, SC.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Partindo da vista do biótipo sensível na figura 6, o biótipo CA0421* claramente exibe suscetibilidade ao herbicida penoxsulam, pois a partir de 0,25 vezes a dose recomendada, as plantas tiveram seu crescimento controlado com a aplicação. O que pode ser comparado com os biótipos CA05 e CA0821 que apresentaram resistência ao herbicida 28 DAA.

Figura 7 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida penoxsulam ($250 \text{ mL p.c. ha}^{-1}$), aos 28 DAA em Lages, SC.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

É possível observar, na Figura 7, que as plantas de capim-arroz do biótipo CA14 sobreviventes, ou seja, apenas aquelas sem aplicação herbicida (testemunha) de forma que nas demais doses todas as plantas foram controladas, confirmam sua suscetibilidade ao herbicida penoxsulam. O biótipo CA13 apresentou comportamento semelhante de suscetibilidade, embora a dose testemunha tenha sido afetada por contaminação no dia das aplicações.

A maioria dos biótipos de capim-arroz obteve resistência ao herbicida bispyribac-sodium confirmada no ensaio de dose resposta, os quais resultaram em $FR > 1,0$ e $DL80 > 80$ g i.a. ha^{-1} (Tabela 7). Os biótipos S (CA07), CA01, CA0421*, CA13 e CA14 foram suscetíveis ao bispyribac-sodium, pois apresentaram controle máximo maior que 89% e DL80 abaixo da dose recomendada, o que confirma a suscetibilidade dos biótipos (Tabela 7). Os resultados foram mantidos para a variável massa seca da parte aérea, com exceção do biótipo CA01 que apresentou GR80 superior a 80 g i.a. ha^{-1} de bispyribac-sodium. Esses resultados indicam ampla disseminação da resistência de capim-arroz a bispyribac-sodium em áreas orizícolas de Santa Catarina.

Tabela 7 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de bispyribac-sodium 28 dias após aplicação (DAA) em Lages, SC.

(continua)

Biótipo	Controle (%)			
	Bispyribac sodium			
	DL50 (g i.a. ha^{-1})	DL80 (g i.a. ha^{-1})	Cmáx	FR
S	1,256	5,12	99,2	-
CA14	3,44	19,2	98,2	2,74
CA0421	4,152	10,32	99,0	3,3
CA0321	>1280	>1280	35,5	>1019
CA01	9,52	64	89,0	7,6
CA02	>1280	>1280	35,0	>1019
CA05	>1280	>1280	74,0	>1019
CA0821	>1280	>1280	28,3	>1019
CA09	>1280	>1280	28,8	>1019
CA10	289,6	3200	80,0	230,5
CA11	424	>1280	63,3	337,6
CA12	>1280	>1280	40,9	>1019
CA13	0,96	4,08	97,6	0,8
CA16	428,8	>1280	74,2	341
CA17	>1280	>1280	11,7	>1019
CA1B	280	>1280	63,8	223
CA2B	156	>1280	74,9	124
CA3B	1,70	136	65,0	135
CA4B	>1280	>1280	97,6	>1019
Biótipo	MSPA (g/vaso)			
	Bispyribac sodium			
	DL50 (g i.a. ha^{-1})	DL80 (g i.a. ha^{-1})	-	FR
S	0,53	2,11	-	-

Tabela 7 - Dose letal para controle ou redução MSPA de 50% (DL50 e GR50) e 80% (DL80 e GR80), controle máximo (Cmáx) e fator de resistência (FR) de biótipos de capim arroz submetidos à aplicação de bispyribac-sodium 28 dias após aplicação (DAA) em Lages, SC.

(conclusão)

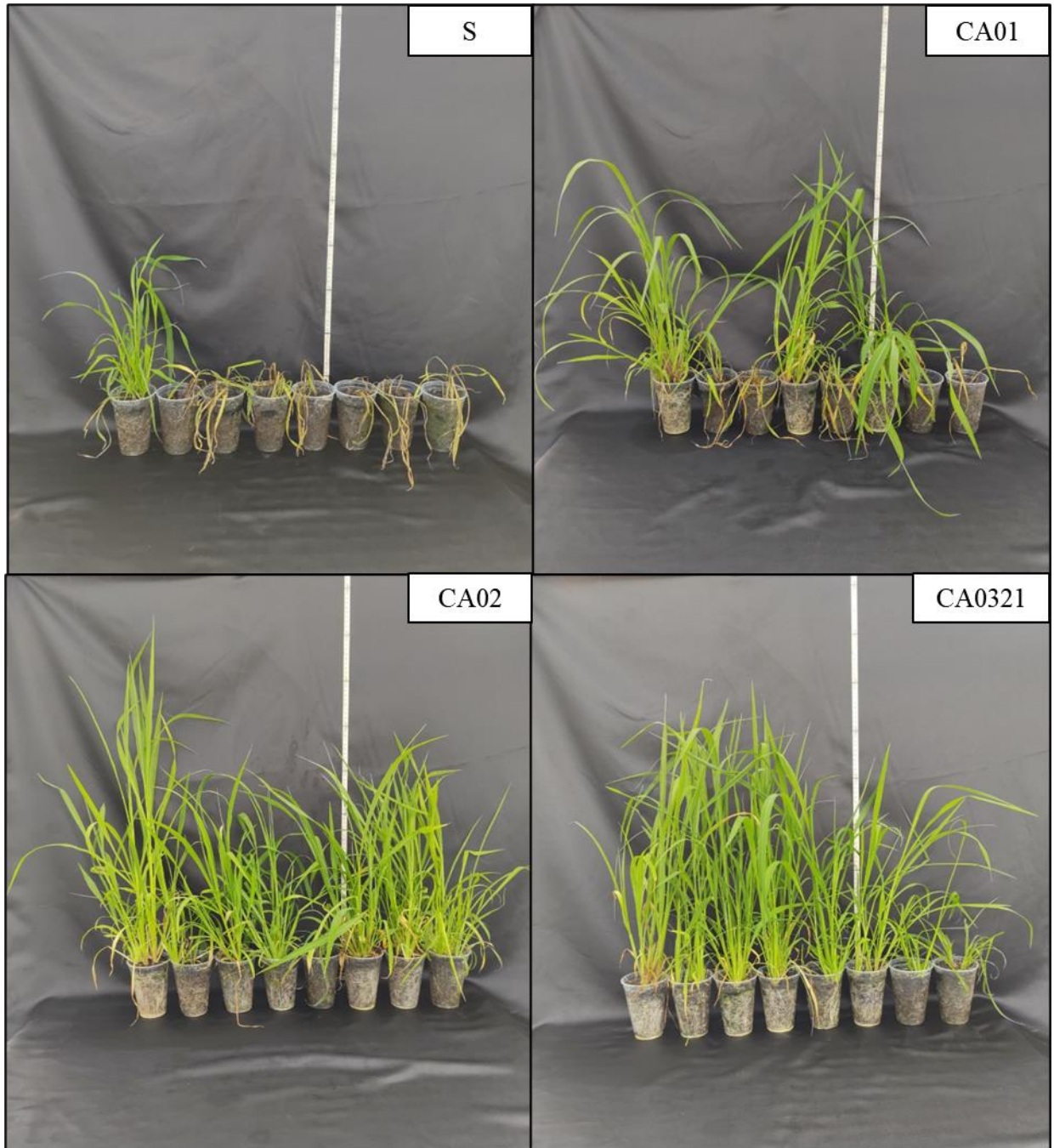
Biótipo	MSPA (g/vaso)			
	Bispyribac sodium			
	DL50 (g i.a. ha ⁻¹)	DL80 (g i.a. ha ⁻¹)	-	FR
CA14	0,0	0,08		0,00
CA0421	0,0	0,0		0,00
CA0321	228	>1280		430,2
CA01	31,84	140,80		60,1
CA02	96,8	>1280		182,6
CA05	497,6	>1280		938,9
CA0821	430,4	>1280		812,1
CA09	>1280	>1280		>2415
CA10	168	547,2		317
CA11	256,6	1046,0		484,2
CA12	264,8	677,6		499,6
CA13	0,001	0,84		0,001
CA16	720,8	>1280		1360
CA17	316	1264		596,2
CA1B	12,52	140,0		23,6
CA2B	2,64	105,84		4,98
CA3B	514,4	>1280		970,6
CA4B	>1280	>1280		>2415

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A figura 8 esclarece, comparando o biótipo sensível (S) com o biótipo CA01, a suscetibilidade do mesmo ao herbicida bispyribac-sodium, visto que as plantas testemunhas estão eretas e mais desenvolvidas que as plantas submetidas à dose recomendada e duas vezes ela. O biótipo CA02 demonstra bem o pleno desenvolvimento da testemunha em relação a 0,25 até 16 vezes a dose, onde as plantas estavam com porte reduzido. As plantas de capim-arroz do biótipo CA0321 cresceram normalmente sem efeito de injúria independente da dose aplicada de bispyribac-sodium, sendo pouco afetadas com 16 vezes a dose.

Em relação à MSPA, atentando-se ao biótipo CA01 confirma a $FR > 1,0$, assim como, os biótipos CA02 e CA0321 maior quantidade de biomassa aos 28DAA que foram coletadas e submetidas ao processo de secagem e pesagem (Figura 8).

Figura 8 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida bispyribac-sodium ($125 \text{ mL p.c. ha}^{-1}$), aos 28 DAA em Lages, SC.

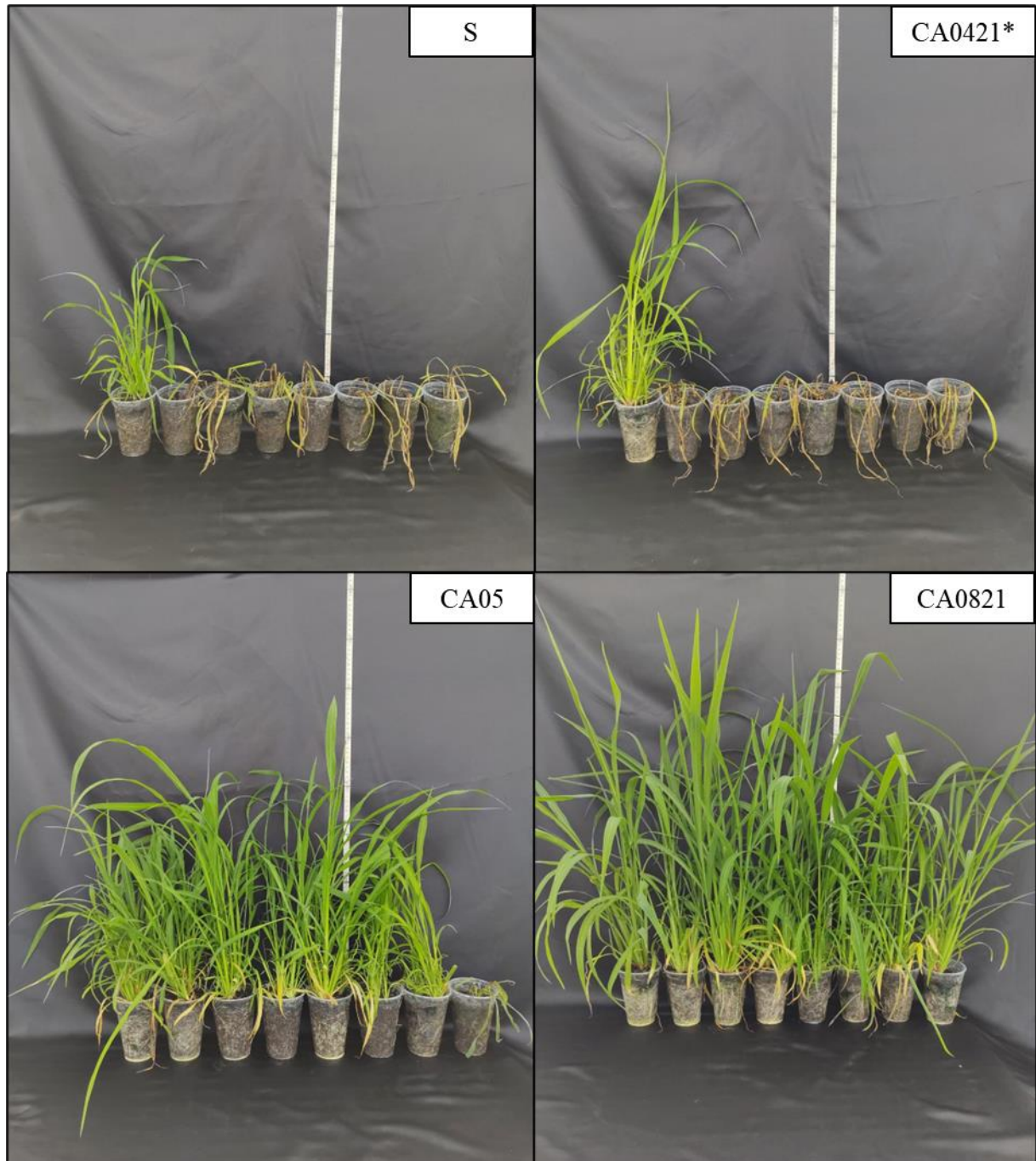


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

É possível confirmar a suscetibilidade do biótipo CA0421* ao herbicida bispyribac-sodium, onde apenas as plantas da testemunha continuaram seu pleno desenvolvimento

vegetativo. Os biótipos CA05 e CA0821 apresentaram as plantas desenvolvidas mesmo após aplicação das diferentes doses herbicidas, confirmando sua resistência (Figura 9).

Figura 9 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida bispyribac-sodium (125 mL p.c. ha⁻¹), aos 28 DAA em Lages, SC.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

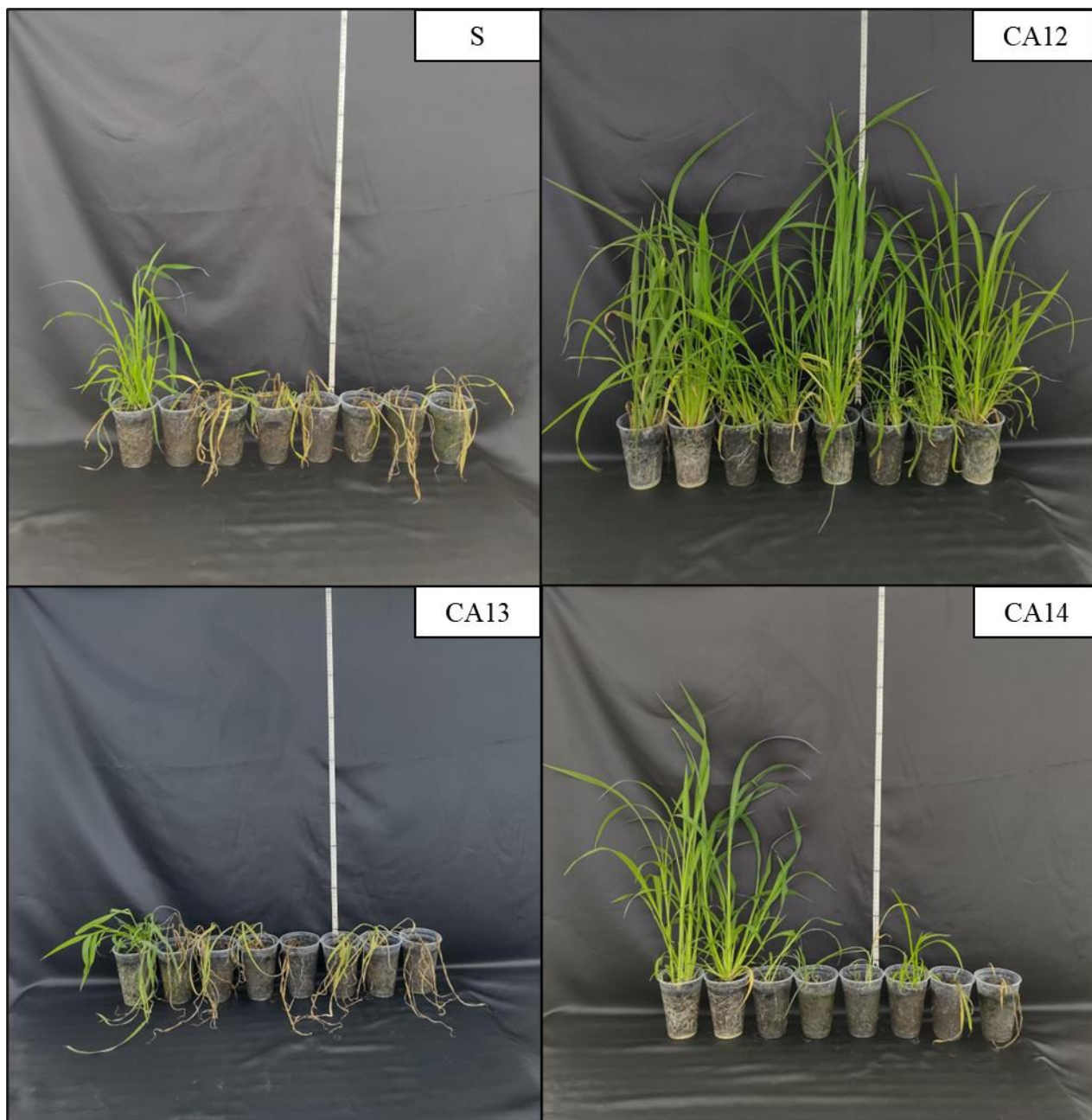
Evidentemente, a figura 10 demonstra a suscetibilidade do biótipo CA13 às doses herbicidas de bispyribac-sodium, mantendo massa verde apenas nas plantas da dose 0 e as plantas nas doses seguintes apresentam sintomas característicos da ação herbicida. Da mesma forma, pode-se observar comportamento semelhante no biótipo CA14, onde 0 e 0,25 vezes a dose recomendada do herbicida, as plantas continuaram seu pleno desenvolvimento o qual foram controladas com as doses subsequentes.

Bispyribac-sodium é um herbicida inibidor da acetolactato sintase frequentemente usado para o controle de plantas daninhas em campos de arroz, no entanto, tem sido relatada sua redução de controle sobre o capim-arroz (CHOUDHARY *et al.*, 2023). Nesse estudo foi relatado o primeiro caso de resistência de capim-arroz ao herbicida bispyribac-sodium (25 g i.a. ha⁻¹, a taxa efetiva necessária para atingir 50% de controle (DL50) de biótipos supostamente resistentes variou entre 18 a 41 g i.a. ha⁻¹, enquanto a DL50 deste estudo variou entre 1,70 a >1.280 g i.a. ha⁻¹ sendo que a dose recomendada em bula é 80 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 9).

Uma hipótese foi levantada sobre a resistência cruzada a outros inibidores da ALS, piribenzoxim e bispyribac-sodium, ser ocasionada devida à mutação nos genes da ALS (FENG *et al.*, 2022), visto que pesquisas anteriores demonstraram que Trp-574-Leu confere resistência de alto nível ao penoxsulam em *E. crus-galli* da Itália, ocorrendo resistência cruzada aos inibidores de ALS penoxsulam e bispyribac-sodium (YANG *et al.*, 2021). Porém, isso descartaria a possibilidade de a resistência ocorrer pela inibição do citocromo P450 como levantada nesse estudo

Cerca de 34,9% dos biótipos coletados na Turquia foram resistentes ao bispyribac-sodium e 4,1% ao herbicida penoxsulam, caracterizando uma resistência cruzada (HAGHNAMA; MENNAN, 2020), assim como o CA17 do presente estudo. O uso excessivo de agrotóxicos é uma prática hoje controversa à prevenção da resistência de plantas daninhas a herbicidas (FRISVOLD, 2019), nessa linha de pensamento, métodos antigos estão sendo revividos como a rotação de culturas e reduzir as aplicações de herbicidas pode manter o controle eficaz (HUNT; HILL; LIEBMAN, 2017).

Figura 10 - Biótipos de capim-arroz submetidos à aplicação de 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 vezes a dose recomendada em bula do herbicida bispyribac-sodium ($125 \text{ mL p.c. ha}^{-1}$), aos 28 DAA em Lages, SC.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O biótipo CA07 apresentou suscetibilidade ao grupo das imidazolinonas (IMI), triazolpirimidinas (TP) e pirimidil-benzoatos (PTB), sendo ainda denominado como biótipo sensível a ALS; biótipo CA0421* apresentou suscetibilidade ao grupo TP e PTB e resistência ao grupo IMI; biótipo CA14 apresentou suscetibilidade ao grupo PTB e resistência aos grupos

químicos IMI e TP; biótipo CA17 apresentou resistência aos três grupos químicos; biótipo CA1B apresentou suscetibilidade ao grupo IMI e resistência ao grupo TP e PTB; e o biótipo CA2B apresentou suscetibilidade ao grupo químico TP e resistência aos demais.

5 CONCLUSÃO

Os biótipos CA07 (Tubarão) e CA13 (Rio do Campo) são suscetíveis aos três herbicidas inibidores de ALS utilizados nesse estudo – imazapyr + imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium. Além disso, os biótipos CA14 (Taió) e CA0421* (Paulo Lopes), são suscetíveis ao penoxsulam, e os biótipos CA14, CA0421* e CA01 (Paulo Lopes) são suscetíveis ao bispyribac-sodium.

A partir do experimento 2, obteve-se confirmação da resistência cruzada do biótipo CA14 (Taió), à mistura formulada imazapyr + imazapic com DL50 62 + 20 (g i.a. ha⁻¹) e ao penoxsulam DL50 1,872 (g i.a. ha⁻¹), do biótipo CA1B (Pouso Redondo) foi confirmada a resistência cruzada ao herbicida penoxsulam com DL50 78,72 (g i.a. ha⁻¹) e ao bispyribac-sodium DL50 280 (g i.a. ha⁻¹), o biótipo CA2B (Rio do Campo) à mistura formulada imazapyr + imazapic com DL50 132 + 44 (g i.a. ha⁻¹) e ao bispyribac-sodium DL50 2,64 (g i.a. ha⁻¹); FR>1,0 e acima 16 vezes a dose recomendada dos herbicidas na região de Alto Vale do Itajaí. Entretanto, o biótipo CA17, proveniente de Massaranduba, apresentou resistência cruzada na região do Litoral Norte, com DL50 >1176 + 392 (g i.a. ha⁻¹) ao imazapyr + imazapic, DL50 > 768 (g i.a. ha⁻¹) ao penoxsulam e DL50 >1280 (g i.a. ha⁻¹) ao bispyribac-sodium.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D., *et al.* Interferência de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa*) em função da época de irrigação. **Planta Daninha**, v. 25, p. 689-696, 2007.
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de capim-arroz (*Echinochloa* spp.). **Planta Daninha**, v. 26, p. 757-766, 2008.
- AGOSTINETTO, D., *et al.* Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. **Planta Daninha**, v. 28, p. 993-1003, 2010.
- AGOSTINETTO, D., *et al.* Épocas de aplicação de penoxsulam e de início da irrigação no arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 29, p. 405-412, 2011.
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Response of soybean cultivars in rotation with irrigated rice crops cultivated in Clearfield® system. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Period prior to interference of barnyardgrass is modified due to the spraying of cyhalofop-butyl alone or associated with penoxsulam in paddy rice crop. *Advances in Weed Science*, v. 39, 2021.
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Differences in biochemical, physiological and molecular response mechanisms of rice, weedy rice and barnyardgrass subjected to drought. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, 2022.
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Quick bioassay test from tillers for detecting als herbicide resistance of weedy rice and barnyardgrass. **Bioscience Journal**, v. 39, e39022, 2023.
- AVILA, L. A. *et al.* Status of weedy rice (*Oryza* spp.) infestation and management practices in southern Brazil. **Weed Science**, v. 69, n. 5, p. 536-546, 2021a.
- AVILA, L. A. *et al.* Eighteen years of Clearfield™ rice in Brazil: what have we learned?. **Weed Science**, v. 69, n. 5, p. 585-597, 2021b.
- AWAN, T. H.; STA CRUZ, P. C.; CHAUHAN, B. S. Influence of *Echinochloa crus-galli* density and emergence time on growth, productivity and critical period of competition with dry-seeded rice. **International Journal of Pest Management**, p. 1-13, 2021.
- BAI, S. *et al.* Target-site and non-target-site-based resistance to tribenuron-methyl in multiply-resistant *Myosoton aquaticum* L. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 155, p.8-14, 2019.
- BALBINOT, A. *et al.* Rising atmospheric CO₂ concentration affect weedy rice growth, seed shattering and seedbank longevity. **Weed Research**, 2022.
- BARROSO, A. A. M. *et al.* Resistência de plantas daninhas à herbicidas: identificação e relato. **Comitê de Ação a Resistência aos Hercebicidas - HRAC - BR**, v.2, n.1, p.1-6, 2021a.

BARROSO, A. A. M. *et al.* Resistência de plantas daninhas à herbicidas: identificação de mecanismos não relacionados ao local de ação (N-RELA). **Comitê de Ação a Resistência aos Hercebicidas - HRAC - BR**, v.2, n.3, p.1-5, 2021b.

BASF. Arsenal® NA – herbicida para plantas daninhas – BASF Brasil. Disponível em: <https://agriculture.basf.com/br/pt/manejo-de-vegetacao/produtos/arsenal-na.html>. Acesso em: 23 maio de 2023.

BAUCOM, R. S. Evolutionary and ecological insights from herbicide-resistant weeds: what have we learned about plant adaptation, and what is left to uncover?. **New Phytologist**, v. 223, n. 1, p. 68-82, 2019.

BECKIE, H. J. *et al.* Herbicide resistance management strategies: how do they compare with those for insecticides, fungicides and antibiotics?. **Pest Management Science**, v. 77, n. 7, p. 3049-3056, 2021.

BENEDETTI, L. *et al.* Recurrent selection by herbicide sublethal dose and drought stress results in rapid reduction of herbicide sensitivity in junglerice. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1619, 2020.

BENEDETTI, L. *et al.* Recurrent selection with low herbicide rates and salt stress decrease sensitivity of *Echinochloa colona* to imidazolinone. **Agriculture**, v. 11, n. 3, p. 187, 2021.

BOBADILLA, L. K., *et al.* Characterization and inheritance of dicamba resistance in a multiple-resistant waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) population from Illinois. **Weed Science**, v. 70, n.1, p. 4-13, 2022.

BRABHAM, C. B.; GERBER, C. K.; JOHNSON, W. G. Fate of glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) in the presence and absence of glyphosate. **Weed Science**, v. 59, n. 4, p. 506-511, 2011.

BROSNAN, J. T. *et al.* A new amino acid substitution (Ala-205-Phe) in acetolactate synthase (ALS) confers broad spectrum resistance to ALS-inhibiting herbicides. **Planta**, v. 243, p. 149-159, 2016.

BURKE, R. *et al.* Stressed to death: The role of transcription factors in plant programmed cell death induced by abiotic and biotic stimuli. **Frontiers in plant science**, v. 11, 2020.

BUSI, R. *et al.* Rotations and mixtures of soil-applied herbicides delay resistance. **Pest Management Science**, v. 76, n. 2, p. 487-496, 2020.

CATONI, J. M. *et al.* Interação do tratamento de sementes e da mistura em tanque de herbicidas na seletividade para o arroz irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 16-25, 2020.

CHEN, G. *et al.* Penoxsulam-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in rice fields in China. **Weed Biology and Management**, v. 16, n. 1, p. 16-23, 2016.

CHOUDHARY, V. K. *et al.* First Report on ALS Herbicide Resistance in Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) from Rice Fields of India. **Weed Technology**, p. 1-21, 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira. Brasília: DF, CONAB, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra>. Acesso em: 16 de set. de 2022.

CONCENÇO, G.; LOPES, N. F.; ANDRES, A. Emergência e crescimento inicial de plantas de arroz e capim-arroz em função do nível de umidade no solo. **Planta Daninha**, v. 25, p. 457-463, 2007.

CONCENÇO, G. *et al.* Competitividade de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível ao quinclorac. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 2, n.1, p. 195-202, 2008.

CONCENÇO, G. *et al.* Carryover of [imazapic+ imazapyr] on different crops systems in lowland areas with Clearfield® rice. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 3, 2022.

CUSARO, C. M. *et al.* Involvement of miRNAs in Metabolic Herbicide Resistance to Bispyribac-Sodium in *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. **Plants**, v. 11, n. 23, p. 3359, 2022.

CUTTI, L. *et al.* The safener isoxadifen-ethyl confers fenoxaprop-p-ethyl resistance on a biotype of *Echinochloa crus-galli*. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2287-2298, 2022.

DALAZEN, G.; MARKUS, C.; MEROTTO JR, A. Differential expression of genes associated with degradation enhancement of imazethapyr in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). **J Agric Sci**, v. 10, n. 9, p. 10.5539, 2018.

DAMALAS, C. A.; KOUTROUBAS, S. D. Herbicide-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in global rice production. **Weed Biology and Management**, v. 23, n. 1, p. 23-33, 2023.

DAYAN, F. E. Current status and future prospects in herbicide discovery. **Plants**, v. 8, n. 9, p. 341, 2019.

DIMAANO, N. *et al.* Functional characterization of cytochrome P450 CYP81A subfamily to disclose the pattern of cross-resistance in *Echinochloa phyllopogon*. **Plant molecular biology**, v. 102, p. 403-416, 2020.

DUKE, S. O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?. **Pest Management Science**, v. 68, n. 4, p. 505-512, 2012.

EBERHARDT, D. S. *et al.* Barnyardgrass with multiple resistance to synthetic auxin, ALS and ACCase inhibitors. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 823-832, 2016.

Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Recomendações para a produção sustentável de arroz irrigado em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2022. p. 132. (Epagri. Sistemas de Produção, 56).

FACCHINELLO, P. H. K. *et al.* Predicted genetic gains weighted by selection pressures for grain quality in irrigated rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021.

FANG, J. *et al.* Target site-based penoxsulam resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) from China. **Weed science**, v. 67, n. 3, p. 281-287, 2019a.

FANG, J. *et al.* Target-site and metabolic resistance mechanisms to penoxsulam in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 67, n. 29, p. 8085-8095, 2019b.

FANG, J. *et al.* A novel mutation Asp-2078-Glu in ACCase confers resistance to ACCase herbicides in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 168, n. 104634, 2020.

FANG, J. *et al.* A novel Phe-206-Leu mutation in acetolactate synthase confers resistance to penoxsulam in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv). **Pest Management Science**, 2022.

FEIJÓ, Â. R. *et al.* Interaction between saflufenacil and imazapyr+ imazapic in the management of barnyardgrass and weedy rice and selectivity for irrigated rice. **Ciência Rural**, v. 50, 2020.

FENG, T. *et al.* Multiple resistance mechanisms to penoxsulam in *Echinochloa crus-galli* from China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 187, n. 105211, 2022.

FIALHO, C. M. T. *et al.* Weed Interference in Soybean Crop Affects Soil Microbial Activity and Biomass. **Planta Daninha**, v. 38, 2020.

FLECK, N. G. *et al.* Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de arroz-vermelho. **Planta daninha**, v. 26, p. 101-111, 2008.

FOERSTER, A. M. L. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. 2022.

FRISVOLD, G. B. How low can you go? Estimating impacts of reduced pesticide use. **Pest Management Science**, v. 75, n. 5, p. 1223-1233, 2019.

GAINES, T. A. *et al.* Mechanisms of evolved herbicide resistance. **Journal Biological Chemistry**, v. 295, n. 30 p. 30307-10330, 2020.

GALON, L. *et al.* Estimativa das perdas de produtividade de grãos em cultivares de arroz (*Oryza sativa*) pela interferência do capim-arroz (*Echinochloa* spp.). **Planta Daninha**, v. 25, p. 697-707, 2007.

GANIE, Z. A. *et al.* Investigating the mechanism of glyphosate resistance in a common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) biotype from Nebraska. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 97, n. 6, p. 1140-1151, 2017.

GHANIZADEH, H.; HARRINGTON, K. C. Non-target site mechanisms of resistance to herbicides. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 36, n. 1, p. 24-34, 2017.

GHANIZADEH, H.; HARRINGTON, K. C. Perspective: root exudation of herbicides as a novel mode of herbicide resistance in weeds. **Pest Management Science**, v. 76, n. 8, p. 2543-2547, 2020.

GHEREKHLOO, J. *et al.* Pro-106-Ser mutation and EPSPS overexpression acting together simultaneously in glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica*). **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2017.

GIACOMINI, D. A. *et al.* Coexpression clusters and allele-specific expression in metabolism-based herbicide resistance. **Genome biology and evolution**, v. 12., n. 12, p. 2267-2278, 2020.

GMACH, J. R. *et al.* Productive potential of upland rice under conventional and organic farming systems. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 1, p. 70-80, 2018.

GUERRA, N. *et al.* Aryloxyphenoxypropionate in association with others herbicides in controlling weedy rice and barnyardgrass. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 1-9, 2020.

HADA, Z. *et al.* Point mutations as main resistance mechanism together with P450-based metabolism confer broad resistance to different ALS-inhibiting herbicides in *Glebionis coronaria* from Tunisia. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 626702, 2021.

HAGHNAMA, K.; MENNAN, H. Herbicide resistant barnyardgrass in Iran and Turkey. **Planta Daninha**, v. 38, p. 1 – 8, 2020.

HAN, H. *et al.* Widespread occurrence of both metabolic and target-site herbicide resistance mechanisms in *Lolium rigidum* populations. **Pest Management Science**, v. 72, n. 2, p. 255-263, 2016.

HAN, H. *et al.* Cytochrome P450 CYP81A10v7 in *Lolium rigidum* confers metabolic resistance to herbicides across at least five modes of action. **The Plant Journal**, v. 105, n. 1, p. 79-92, 2021.

HARRE, N. T.; YOUNG, J. M.; YOUNG, B. G. Environmental factors moderate glyphosate-induced antagonism of POST herbicides on the rapid response biotype of glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*). **Weed Science**, v. 66, n. 3, p. 301-309, 2018.

HEAP, I. The International Herbicide – Resistant Weed Database. 2022. Disponível em: <https://www.weedscience.org/Home.aspx>. Acesso em: 18 de set. de 2022.

HEAP, I. The International Herbicide – Resistant Weed Database. 2023. Disponível em: <https://www.weedscience.org/Pages/filter.aspx>. Acesso em: 18 de maio de 2023.

HEAP, I. Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest Management Science**, v. 70, n. 9, p. 1306-1315, 2014.

HIKOSAKA, M.; IWAHASHI, F.; YAMATO, S. Metabolomic analysis of *Schoenoplectus juncooides* reveals common markers of acetolactate synthase inhibition among paddy weeds. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 174, n. 104827, 2021.

HRAC-BR – Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas. **Aspectos de Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas**. 6ª ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

HUANG, M. *et al.* Comparative analysis of resistance to ALS-inhibiting herbicides in smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis*) populations from direct-seeded and puddled-transplanted rice systems. **Weed Science**, v. 70, n. 2, p.174-182, 2022.

HUNT, N. D.; HILL, J. D.; LIEBMAN, M. Reducing freshwater toxicity while maintaining weed control, profits, and productivity: Effects of increased crop rotation diversity and reduced herbicide usage. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 3, p. 1707-1717, 2017.

IWAKAMI, S. *et al.* CYP 81A P450s are involved in concomitant cross-resistance to acetolactate synthase and acetyl-CoA carboxylase herbicides in *Echinochloa phyllopogon*. **New Phytologist**, v. 221, n. 4, p. 2112-2122, 2019.

JESUS, E. S. V. *et al.* Assessment of water and sediment quality variation due to organic and conventionally irrigated pre-germinated rice-field cultivation. **Revista Ambiente & Água**, v. 17, 2022.

JHALA, A. J. *et al.* Transfer of resistance alleles from herbicide-resistant to susceptible grass weeds via pollen-mediated gene flow. **Weed Technology**, v. 35, n. 6, p. 869-885, 2021.

JIN, W. *et al.* Comparative Transcriptome Analysis of the Differential Effects of Florpyrauxifen-Benzyl Treatment on Phytohormone Transduction between Florpyrauxifen-Benzyl-Resistant and -Susceptible Barnyard Grasses (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv). **Agronomy**, v.13, n. 3, p. 702, 2023.

JUGULAM, M.; SHYAM, C. Non-target-site resistance to herbicides: Recent developments. **Plants**, v. 8, n. 417, 2019.

JÚNIOR, C. Z. J. *et al.* Rendimento de feijão-caupi sob interferência de plantas daninhas Cowpea yield under weed interference. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 120939-120950, 2021.

JUNKES, G. V. *et al.* Imidazolinone herbicide dissipation in rice fields as affected by intermittent and continuous irrigation. **Advances in Weed Science**, v. 40, 2022.

KAYA-ALTOP, E. *et al.* Effect of different water management strategies on competitive ability of semi-dwarf rice cultivars with *Echinochloa oryzoides*. **Crop Protection**, v. 116, p. 33 - 42, 2019.

KHALEDI, R. *et al.* PCR-based identification of point mutation mediating acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in weed wild mustard (*Sinapis arvensis*). **Molecular Biology Reports**, v. 46, n. 5, p. 5113-5121, 2019.

KUVA, M. A.; SALGADO, T. P.; REVOREDO, T. T. O. Experimentos de Eficiência e Praticabilidade Agrônômica com Herbicidas. In: MONQUERO, Patricia A. **Experimentação com Herbicidas**. São Carlos: RiMa Editora, 2016. P. 75 – 97.

LAFORREST, M. *et al.* Differential expression of genes associated with non-target site resistance in *Poa annua* with target site resistance to acetolactate synthase inhibitors. **Pest Management Science**, v. 77, n. 11, p. 4993-5000, 2021.

LI, Z. *et al.* Variation in mutations providing resistance to acetohydroxyacid synthase inhibitors in *Cyperus difformis* in China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 166, n. 104571, 2020.

LI, Z. *et al.* Enhanced Metabolism Evolved High-Level Resistance to Fenoxaprop-P-Ethyl in *Alopecurus japonicus*. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2172, 2022.

LIU, X. *et al.* Genomic and transcriptomic insights into cytochrome P450 monooxygenase genes involved in nicosulfuron tolerance in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 8, p. 1790-1799, 2018.

LIU, Y. *et al.* Target-site and metabolic mechanisms of tolerance to penoxsulam in pond lovegrass (*Eragrostis japonica*). **Weed Science**, v. 71, n. 1, p. 29-38, 2022.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA, 2009.

MARKUS, C., BARROSO, A. A. M., DALAZEN, G., RONCATTO, E., MEROTTO JÚNIOR, A. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. In: BARROSO, Arthur A. M., MURATA, Afonso T. Matologia: estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, p. 324 – 364, 2021.

MARTINI, L. F. D. *et al.* Cross-talk between cold and bispyribac-sodium on rice seedlings. **Plant Stress**, v. 3, p. 100049, 2022.

MARTINS JÚNIOR, M. C. *et al.* Épocas e densidades de semeadura sobre o desempenho agrônômico do arroz irrigado no sistema pré-germinado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v. 20, n. 2, p. 107 – 117, 2021.

MARTINS JÚNIOR, M. C.; POLETTO, N. Salinity study of irrigation waters used in rice fields. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 21, n. 1, p. 27-34, 2022.

MARTINS, M. B. *et al.* Seed dynamics of *Aeschynomene denticulata* and *Aeschynomene indica*. **Weed Biology and Management**, v. 21, n. 3, p. 172-180, 2021.

MARTINS, M. B. *et al.* *Aeschynomene* spp. Identification and Weed Management in Rice Fields in Southern Brazil. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 453, 2021.

MARSCHALEK, R. *et al.* SCS124 Sardo: Brazilian rice cultivar with excellent milling quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, 2020.

MASILAMANY, D. *et al.* Pre and post control of weedy rice and selected rice weeds with premix of imazapic and imazapyr at different ratios. **Malaysian Applied Biology**, v. 50, n. 3, p. 87-93, 2021.

MASSA, D.; KRENZ, B.; GERHARDS, R. Target-site resistance to ALS-inhibiting herbicides in *Apera spica-venti* populations is conferred by documented and previously unknown mutations. **Weed Research**, v. 51, n. 3, p. 294-303, 2011.

MELO, T. S. *et al.* Cumulative potential and half-life of [imazapic+ imazapyr] in lowland soils of Rio Grande Do Sul grown with clearfield® rice. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, p. 1-8, 2022.

MENDES, F. F.; SILVA, A. A. **Plantas daninhas: herbicidas**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2022. 200p.

MILANI, A. *et al.* Population structure and evolution of resistance to acetolactate synthase (ALS)-inhibitors in *Amaranthus tuberculatus* in Italy. **Pest Management Science**, v. 77, n. 6, p. 2971-2980, 2021.

MILANI, A.; SCARABEL, L.; SATTIN, M. A family affair: resistance mechanism and alternative control of three *Amaranthus* species resistant to acetolactate synthase inhibitors in Italy. **Pest Management Science**, v. 76, n. 4, p. 1205-1213, 2019.

MORETTI, M. L., *et al.* Glyphosate resistance in *Ambrosia trifida*: Part 2. Rapid response physiology and non-target-site resistance. **Pest Management Science**, v. 74, n. 5, p. 1079-1088, 2018.

MURPHY, B. P.; TRANEL, P. J. Target-site mutations conferring herbicide resistance. **Plants**, v. 8, n. 10, 2019.

NANDULA, V. K. *et al.* Herbicide metabolism: crop selectivity, bioactivation, weed resistance, and regulation. **Weed Science**, v. 67, n. 2, p. 149-175, 2019.

NEVE, P.; POWLES, S. Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 110, p. 1154–1166, 2005.

NORSWORTHY, J. K. *et al.* Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. **Weed Science**. v. 60, p.31-62, 2012.

OLIVEIRA NETO, A. M. *et al.* Sensitivity of weedy rice populations to Quisalofop. **Planta Daninha**, v. 38, 2020.

OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N.; NOLDIN, J. A. Off-season management with herbicides as an alternative to reduce weed infestation in paddy rice production systems. **Planta Daninha**, v. 38, 2020.

PALMA-BAUTISTA, C. *et al.* Tribenuron-methyl metabolism and the rare Pro197Phe double mutation together with 2, 4-D metabolism and reduced absorption can evolve in

Papaver rhoeas with multiple and cross herbicide resistance to ALS inhibitors and auxin mimics. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 188, n. 105226, 2022.

PAN, L. *et al.* An ABCC-type transporter endowing glyphosate resistance in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 16, e2100136118, 2021.

PAN, L. *et al.* CYP81A68 confers metabolic resistance to ALS and ACCase-inhibiting herbicides and its epigenetic regulation in *Echinochloa crus-galli*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 428, n. 128225, 2022.

PANOZZO, S. *et al.* Target-site mutations and expression of ALS gene copies vary according to *Echinochloa* species. **Genes**, v. 12, n. 11, p. 1841, 2021.

PIGATTO, C. S. *et al.* Barnyardgrass control using tank-mixed herbicides with saflufenacil and its influence in photosynthesis and chlorophyll fluorescence. **Ciência Rural**, v. 50, 2020.

PITOL, A. *et al.* Ecophysiological aspects of seed germination in *Sagittaria montevidensis* biotypes resistant and susceptible to herbicides. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, 2022.

PIVETA, L. B. *et al.* Weedy rice (*Oryza* spp.) diversity in southern Brazil. **Weed Science**, v. 69, n. 5, p. 547-557, 2021.

PIVETA, L. B. *et al.* Molecular and physiological responses of rice and weedy rice to heat and drought stress. **Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 9, 2020.

POURAMIR, F.; YAGHOUBI, B.. Biology and management of the invasive (*Echinochloa oryzoides* (Ard.) Fritsch) and common (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) barnyardgrass in paddy field. **Iranian Journal of Weed Science**, v. 17, n. 1, p. 71-84, 2021. DOI: 10.22092/IJWS.2020.128351.1357.

QU, R. Y. *et al.* Where are the new herbicides?. **Pest Management Science**, v. 77, n. 6, p. 2620-2625, 2021.

QUEIROZ, A. R.S. *et al.* Rapid necrosis: a novel plant resistance mechanism to 2, 4-D. **Weed Science**, v. 68, n. 1, p. 6-18, 2020.

QUEIROZ, A. R. S. *et al.*, Rapid necrosis II: physiological and molecular analysis of 2,4-D resistance in Sumatran fleabane (*Conyza sumatrensis*). **Weed Science**, v. 70, p. 36-45, 2021.

RAO, A. N. *Echinochloa colona* and *Echinochloa crus-galli*. In: Biology and Management of Problematic Crop Weed Species. **Academic Press**, 2021. p. 197-239.

RIGON, C. A. G. *et al.* Metabolism-based herbicide resistance, the major threat among the non-target site resistance mechanisms. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 4, p. 162-168, 2020.

RIGON, C. A. G. *et al.* The safener isoxadifen does not increase herbicide resistance evolution in recurrent selection with fenoxaprop. **Plant Science**, v. 313, p. 111097, 2021.

RODRIGUES, R. P. **Manejo de plantas daninhas na cultura do milho: uma revisão bibliográfica**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Campus Itapina, Instituto Federal do Espírito Santo, Colatina, 2022.

ROJANO-DELGADO, A. M., *et al.* Target site as the main mechanism of resistance to imazamox in a *Euphorbia heterophylla* biotype. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2019.

BURGOS, N. R. *et al.* Evolução de plantas daninhas resistentes a herbicidas. Em Sustentabilidade, perigos e riscos de controle de ervas daninhas em sistemas de cultivo em todo o mundo; **CRC Press**: Boca Raton, FL, EUA, p. 92–132, 2019. ISBN 9781498719087.

ROMAN, E.; VARGAS, L. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005. 152 p.

ROUSE, C. E. *et al.* *Echinochloa* resistance to herbicides continues to increase in Arkansas rice fields. **Weed Technology**, v. 32, n. 1, p. 34-44, 2018.

SBCPD – Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas; HRAC-BR – Associação de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas. **Dez passos para relatos de novos casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Folder. 2018.

SCARABEL, L. *et al.* Diversified resistance mechanisms in multi-resistant *Lolium* spp. in three European countries. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 608845, 2020.

SHELDT, B. T. *et al.* Transmission of *Microdochium albescens* from seeds to seedlings in the pre-germinated cultivation system of irrigated rice. **Ciencia Rural**, v. 50, n. 2, 2020.

SHELTER, M. L., *et al.* Sensibilidade de arroz-daninho oriundo de rebrote a imazapyr+ imazapic. **Weed Control Journal**, v. 20, e202100748, 2021.

SHYAM, C. *et al.* Predominance of metabolic resistance in a six-way-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) population. **Frontiers in Plant Science**, v.11, n. 614618, 2021.

SILVA, R. S. *et al.* Efeito da aplicação de herbicidas supostamente antagônicos sobre plantas de arroz suscetíveis a inibidores da enzima ACCase. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 3, p. 1-5, 2020.

SILVA, V. V. *et al.* A Target-Site Mutation Confers Cross-Resistance to ALS-Inhibiting Herbicides in *Erigeron sumatrensis* from Brazil. **Plants**, v. 11, n. 4, p. 467, 2022b.

SILVA, V. I. B. **Potencial alelopático de extratos aquosos de plantas de cobertura sobre o capim-arroz (*Echinochloa crusgalli*)**. 2022c. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2022.

SONG, J. S. *et al.* Cross-resistance of *Echinochloa* species to acetolactate synthase inhibitor herbicides. **Weed Biology and Management**, v. 17, n. 2, p. :91-102, 2017.

SONI, N. *et al.* Survey of ACCase and ALS resistance in winter annual grasses identifies target-site and nontarget-site imazamox resistance in *Secale cereale*. **Pest Management Science**, v. 78, n. 12, p. 5080-5089, 2022.

SPATT, L. L. *et al.* Interaction between nitrogen, soil water condition and herbicides in *Urochloa plantaginea* control in irrigated rice crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 101-108, 2021.

TAKANO, H. K. *et al.* Metabolic cross-resistance to florpyrauxifen-benzyl in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) evolved before the commercialization of Rinskor™. **Weed Science**, v. 71, n. 2, p. 77-83, 2023.

TARLEY, C. R. T. *et al.* Development of selective preconcentration/clean-up method for imidazolinone herbicides determination in natural water and rice samples by HPLC-PAD using an imazethapyr imprinted poly (vinylimidazole-TRIM). **Food chemistry**, v. 334, p. 127345, 2021.

TRANEL, P. J. Herbicide resistance in *Amaranthus tuberculatus*. **Pest Management Science**, v. 77, n. 1, p. 43-54, 2020.

TORRA, J. *et al.* Multiple herbicide-resistant weeds and non-target site resistance mechanisms: a global challenge for food production. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021.

TRIVISIOLO, V. S. **Espécies de capim-arroz submetidas a diferentes doses de herbicidas, condições de umidade do solo e adubação nitrogenada**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

TURRA, G. M. **Variabilidade da tolerância á submersão em *Echinochloa crus-galli* e implicações para o seu controle**. 2022. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

WANG, J. *et al.* RNA-Seq transcriptome analysis to identify candidate genes involved in non-target site-based mesosulfuron-methyl resistance in *Beckmannia syzigachne*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 171, n. 104738, 2021.

WANG, N. *et al.* Resistance to ALS inhibitors conferred by non-target-site resistance mechanisms in *Myosoton aquaticum* L. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 184, n. 105067, 2022.

WERCK-REICHHART, D.; HEHN, A.; DIDIERJEAN, L. Cytochromes P450 for engineering herbicide tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 5, n. 3, p. 116-123, 2000.

WHITCOMB, C. E. An introduction to ALS-inhibiting herbicides. **Toxicology and Industrial Health**, v. 15, n. 1-2, p. 232-240, 1999.

WRIGHT, A. A., *et al.* Multiple herbicide-resistant junglerice (*Echinochloa colona*): identification of genes potentially involved in resistance through differential gene expression analysis. **Weed Science**, v. 66, n. 3, p. 347-354, 2018.

WRZESIŃSKA, B.; PRACZYK, T. Genetic Variability of Acetolactate Synthase (ALS) Sequence in *Centaurea cyanus* Plants Resistant and Susceptible to Tribenuron-Methyl. **Agronomy**, v. 11, p. 2311, 2021.

WU, D. *et al.* Lateral transfers lead to the birth of momilactone biosynthetic gene clusters in grass. **The Plant Journal**, 2022a.

WU, D. *et al.* Genomic insights into the evolution of *Echinochloa* species as weed and orphan crop. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, p. 1-16, 2022b.

XU, Y. *et al.* Effects of a novel combination of two mutated acetolactate synthase (ALS) isozymes on resistance to ALS-inhibiting herbicides in flixweed (*Descurainia sophia*). **Weed Science**, v. 69, n. 4, p. 430-438, 2021.

YAN, B. *et al.* Transcriptome profiling to identify cytochrome P450 genes involved in penoxsulam resistance in *Echinochloa glabrescens*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 158, p.112-120, 2019.

YANG, Q. *et al.* Metabolic resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicide tribenuron-methyl in *Descurainia sophia* L. mediated by cytochrome P450 enzymes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 17, p. 4319-4327, 2018.

YANG, Q. *et al.* Investigating the resistance levels and mechanisms to penoxsulam and cyhalofop-butyl in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) from Ningxia Province, China. **Weed Science**. v. 69, n. 4, p. 422-9, 2021.

YU, Q., POWLES, S. B. Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. **Pest Manag Sci**, p. 1340 – 1350, 2014.

ZHANG, Z. *et al.* Effects of common *Echinochloa* varieties on grain yield and grain quality of rice. **Field Crops Research**, v. 203, p. 163-172, 2017.

ZHANG, X. *et al.* Investigating the mechanism of metabolic resistance to tribenuron-methyl in *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. by full-length transcriptome assembly combined with RNA-Seq. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 69, n. 12, p. 3692-3701, 2021.

ZHANG, Y. *et al.* Up-regulation of bZIP88 transcription factor is involved in resistance to three different herbicides in both *Echinochloa crus-galli* and *E. glabrescens*. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 19, p. 6916-6930, 2022.

ZHANG, Z. *et al.* Seed biology of alkali barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis*) and junglerice (*Echinochloa colona*) for improved management in direct-seeded rice. **Weed Science**, v. 71, n. 2, p. 112-123, 2023.

ZHOU, Q. *et al.* Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 89, n. 2, p. 89-96, 2007.

ZHOU, S. *et al.* Effect of fulvic acid on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) seedling growth under flooding conditions. **Weed Science**, v. 69, n. 2, p. 192-202, 2021.

APÊNDICE

Tabela 8 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida imazapyr + imazapic, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.

(continua)

28 DAA					
Biótipo	Imazapyr + imazapic				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA01	73,7603	-2,2699	7,596	*	0,99
CA02	123347,4	35135,53	-	ns	0,81
CA0321	-	-	-	-	-
CA0421*	85,1022	-5,5371	5,9513	*	1
CA05	100,951	-2,5127	1,13E+01	*	0,99
CA07	99,1207	0,0037	-	*	0,99
CA0821	26,2852	-1,5037	2,5924	*	0,98
CA09	4,9586	-0,0496	-	ns	0,63
CA10	94,3129	-1,1599	2,466	*	0,92
CA11	80,0206	22,1812	-	ns	0,94
CA12	1165838029	925383923,3	-	ns	0,91
CA14	91,4229	-3,6358	8,00E-01	*	0,99
CA16	55,8414	5,2242	5,0296	*	0,99
CA17	217,7419	350,6245	-	ns	0,85
CA1B	108,3172	-0,6093	1,1745	*	0,98
CA2B	79,907	-2,0949	1,3914	*	0,95
CA3B	80,345	7,3323	-	*	0,90
CA4B	21,1692	-0,0077	-	ns	0,90
CA13	97,2949	0,0271	-	*	0,99

MSPA (g)					
Biótipo	Imazapyr + imazapic				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA01	5,4173	1,5435	4,4978	*	0,81
CA02	2,8280	1,9269	2,7011	*	0,95
CA0321	-	-	-	ns	-
CA0421*	4,7036	2,8172	3,4557	*	0,96
CA05	3,9594	1,2331	1,4832	*	0,99
CA07	7,80	0,0028	-	*	1,00
CA0821	4,9534	0,7809	1,5856	*	0,79
CA09	-	-	-	ns	-
CA10	3,8666	0,6965	0,3977	*	0,97
CA11	3,3937	1,1015	6,1024	*	0,73
CA12	5,5450	0,8314	1,4233	*	0,88
CA14	4,7905	1,4368	0,3563	*	0,97
CA16	7,6856	0,4666	0,1289	*	0,97
CA17	-	-	-	ns	-
CA1B	2,6826	2,2595	0,4886	*	0,93
CA2B	8,6313	0,4550	0,0068	*	0,98
CA3B	4,6121	0,9884	-	*	0,67

Tabela 8 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida imazapyr + imazapic, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.

(conclusão)

Biótipo	MSPA (g)				
	Imazapyr + imazapic				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA4B	5,5937	6,0947	-	*	0,63
CA13	6,8200	2,1988	0,0003	*	0,99

Médias de avaliação controle submetidas ao programa Sigma Plot a 5% de probabilidade. * = significativo.

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 9 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida penoxsulam, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.

(continua)

Biótipo	28 DAA				
	Penoxulam				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA01	98,9405	1,4073	-	*	0,95
CA02	42,7118	3,3121	-	*	0,97
CA0321	23,1227	2,2623	-	*	0,99
CA0421*	85,4991	0,0359	-	*	0,99
CA05	88,9965	-4,5901	5,3244	*	0,99
CA07	100,2176	9,00E-03	-	*	0,99
CA0821	12,8672	-1,7457	0,919	*	0,98
CA09	21,8658	0,1358	-	*	0,98
CA10	87,5193	-0,8282	4,1115	*	0,93
CA11	59,7856	-1,8897	7,7202	*	0,98
CA12	35,3124	-4,8941	5,7108	*	0,99
CA14	99,7814	0,0387	-	*	0,98
CA16	60,8642	-1,5466	4,498	*	0,97
CA17	-	-	-	-	-
CA1B	84,2519	1,1223	-	*	0,84
CA2B	75,8307	0,1992	-	*	0,97
CA3B	66,0446	0,0802	-	*	0,99
CA4B	28,8851	4,4335	-	*	0,97
CA13	99,4438	0,0086	-	*	0,99

Biótipo	MSPA (g)				
	Penoxulam				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA01	3,7365	2,6754	-	*	0,79

Tabela 9 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida penoxsulam, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.

(conclusão)

Biótipo	MSPA (g)				
	Penoxulam				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA02	5,3634	0,8709	2,5344	*	0,81
CA0321	4,5847	0,5751	23,9548	*	0,72
CA0421*	1,5749	0,6254	0,0192	*	0,99
CA05	6,3244	0,5495	0,8078	*	0,85
CA07	5,5450	0,0033	-	*	1,00
CA0821	3,9552	9,8427	-	*	0,84
CA09	-	-	-	ns	-
CA10	4,9286	0,3787	1,1739	*	0,75
CA11	5,1119	0,5341	2,5451	*	0,76
CA12	5,3486	1,2725	4,5372	*	0,94
CA14	0,6275	67,3319	0,4077	*	0,92
CA16	5,5529	0,6679	2,7330	*	0,84
CA17	-	-	-	ns	-
CA1B	2,4250	29,4370	3,8290	*	0,88
CA2B	8,2348	0,1387	0,0000	*	0,98
CA3B	9,1991	0,4403	0,4310	*	0,73
CA4B	5,7639	0,5147	5,5527	*	0,73
CA13	4,987	0,0041	-	*	1,00

Médias de avaliação controle submetidas ao programa Sigma Plot a 5% de probabilidade. * = significativo.

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 10 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida bispyribac-sodium, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.

(continua)

Biótipo	28 DAA				
	Bispyribac-sodium				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA01	89,5909	0,0908	-	*	0,93
CA02	25,2518	0,3224	-	*	0,90
CA0321	49,9136	6,4397	-	*	0,94
CA0421*	99,4636	0,0196	-	*	0,99
CA05	48,6363	4,5916	-	*	0,98
CA07	99,349	0,0154	-	*	0,99
CA0821	28,7228	-3,7415	5,2543	*	0,99

Tabela 106 - Avaliação de controle (%) aos 28 dias após aplicação (DAA) e MSPA do herbicida bispyribac-sodium, submetidos à análise de regressão em dois modelos não lineares, sigmoidal e hiperbólico, a partir do programa Sigma Plot 10.0. Lages, SC.

(conclusão)

28 DAA					
Biótipo	Bispyribac-sodium				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA09	30,0171	0,6436	-	*	0,92
CA10	82,259	-1,3031	2,5819	*	0,97
CA11	60,2005	1,0609	-	*	0,96
CA12	41,0055	-3,50552	2,222	*	0,99
CA14	92,4484	0,0360	-	*	0,98
CA16	74,6036	-4,2436	4,5305	*	0,99
CA17	17,8102	2,6774	-	*	0,99
CA1B	69,5021	-0,936	1,2082	*	0,96
CA2B	75,1913	-2,3457	1,4449	*	0,97
CA3B	61,6740	0,3902	-	*	0,98
CA4B	24,3087	10,8390	-	*	0,97
CA13	97,6629	0,0111	-	*	0,99
MSPA (g)					
Biótipo	Bispyribac-sodium				
	a	b	x0	t (p<0,05)	R ²
CA01	3,5587	0,9099	0,3856	*	0,97
CA02	6,1871	0,3160	1,2076	*	0,80
CA0321	4,3741	0,4728	2,8378	*	0,89
CA0421*	3,9700	0,1300	0,0000	*	0,99
CA05	4,0924	1,3300	6,2187	*	0,74
CA07	4,305	0,0066	-	*	0,99
CA0821	5,3887	5,3887	-	*	0,91
CA09	5,9876	0,0606	109,6303	*	0,72
CA10	3,4569	1,1746	2,1008	*	0,85
CA11	4,3945	3,321	-	*	0,75
CA12	3,5974	1,4762	3,3118	*	0,81
CA14	3,7248	0,1785	0,0000	*	0,89
CA16	3,098	9,0266	-	*	0,67
CA17	4,4002	3,9547	-	*	0,71
CA1B	5,2730	0,5764	0,1567	*	0,97
CA2B	6,2830	0,3759	0,0331	*	0,97
CA3B	3,7642	0,6953	6,4380	*	0,91
CA4B	3,6794	17,0398	-	*	0,66
CA13	1,7749	0,2032	0,0000	*	0,97

Médias de avaliação controle submetidas ao programa Sigma Plot a 5% de probabilidade. * = significativo.

Fonte: Elaborada pela autora (2022).