

Situação de resistência de arroz daninho à herbicidas no Baixo São Francisco em áreas produtoras de arroz

Situation of weedy rice resistance to herbicides in Low São Francisco in rice producing areas

Luis Eugênio Lessa Bulhões¹, Renan Cantalice de Souza², Jorge Luiz Xavier Lins Cunha³, Lucas Alceu Rodrigues de Lima⁴, Antônio Barbosa da Silva Júnior⁵, Leandro Lima Casado dos Santos⁶

*Autor correspondente: Amanda Martins de Souza – E-mail: mariabaggio@yahoo.com.br

Recebido em: 05/01/2023

Aceito em: 16/11/2023

RESUMO: Para lidar com a competição com plantas daninhas na rizicultura, estratégias de manejo foram desenvolvidas, como o sistema de produção de arroz Clearfield®. No entanto, o uso contínuo de um mesmo mecanismo de ação para o controle desses agentes infestantes, pode levar ao desenvolvimento de populações resistentes. Nesse sentido, esse estudo objetivou identificar a presença de arroz daninho resistente ao sistema de produção Clearfield® na região do Baixo São Francisco. Para tanto, 7 populações de arroz daninho, sendo 5 em áreas de produção com o sistema Clearfield® e 2 em área sem utilização desse sistema, juntamente com uma variedade de arroz resistente e outra não resistente aos herbicidas do sistema Clearfield® foram submetidas a ensaios de aplicação de diferentes dosagens de kifix®, utilizando como base a dose comercial recomendada para a cultura e espécie alvo (140 g ha⁻¹), sendo o primeiro ensaio para todas as populações nas doses de 0, 35, 70, 140 e 280 g ha⁻¹; o segundo para as populações que apresentaram resistência a dose de 200% (280 g ha⁻¹), nas dosagens de 0; 105; 210; 420 e 840 g ha⁻¹; e o último nas doses de 0; 420; 840; 1.680 e 3.360 g ha⁻¹ para as populações 7 e 8 que apresentaram resistência à dose de 600% (840 g ha⁻¹). Os resultados demonstraram interação entre as populações de arroz e as doses aplicadas de herbicida em pós-emergência. Contudo, embora a aplicação tenha refletido no controle dessas populações, observou-se que algumas destas, P3, P4 e P5, não foram controladas em 100% mesmo com a aplicação de 200% da dose recomendada. Ainda, em duas populações do F1 (P7 e P8), a aplicação do Kifix®, mesmo em dosagem 24 vezes superior a dose recomendada não propiciou o controle total, indicando o elevado grau de resistência presente. Nessa conjuntura, torna-se necessário o desenvolvimento de estratégias que visem retardar a evolução de novos casos de resistência na região do Baixo São Francisco como rotação de culturas e moléculas.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; imidazolinonas; Clearfield.

ABSTRACT: To deal with weed competition in rice farming, management strategies have been developed, such as the Clearfield® rice production system. However, the continuous use of the same mechanism of action to control these pest agents can lead to the development of resistant populations. In this sense, this study aimed to identify the presence of weedy rice resistant to the Clearfield® production system in the Lower São Francisco region. To this end, 7 populations of weedy rice, 5 in production areas with the Clearfield® system and 2 in an area without using this system, together with a resistant rice variety and another not resistant to Clearfield® system herbicides were subjected to tests. application of different dosages of kifix®, using as a basis the recommended commercial

¹ Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Brasil.

² Doutorado em FITOTECNIA na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, Brasil.

³ Doutorado em Doutorado em Fitotecnia (Conceito capes 5) na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Brasil.

⁴ Mestrado em andamento em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Brasil.

⁵ Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Brasil.

⁶ Doutorado em andamento em Produção Vegetal na Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Brasil.

dose for the target crop and species (140 g ha^{-1}), being the first trial for all populations at doses of 0, 35, 70, 140 and 280 g ha^{-1} ; the second for populations that showed resistance to a dose of 200% (280 g ha^{-1}), at doses of 0; 105; 210; 420 and 840 g ha^{-1} ; and the last at doses of 0; 420; 840; 1,680 and $3,360 \text{ g ha}^{-1}$ for populations 7 and 8 that showed resistance to a dose of 600% (840 g ha^{-1}). The results demonstrated an interaction between rice populations and the applied doses of herbicide in post-emergence. However, although the application resulted in the control of these populations, it was observed that some of them, P3, P4 and P5, were not 100% controlled even with the application of 200% of the recommended dose. Furthermore, in two F1 populations (P7 and P8), the application of Kifix®, even at a dosage 24 times higher than the recommended dose, did not provide total control, indicating the high degree of resistance present. At this juncture, it becomes necessary to develop strategies that aim to delay the evolution of new cases of resistance in the Lower São Francisco region, such as crop and molecule rotation.

Keywords: *Oryza sativa* L.; imidazolinones; Clearfield.

INTRODUÇÃO

O rio São Francisco é o maior rio genuinamente brasileiro e o quarto maior rio da América do Sul (Dominguez; Guimarães, 2021). Sua nascente se localiza em Minas Gerais e sua foz no Oceano Atlântico entre Alagoas e Sergipe, o São Francisco corta ainda a Bahia e Pernambuco, em um percurso de 2.700 km subdividido em 4 macrorregiões: Alto São Francisco, Médio São Francisco, Submédio São Francisco e o Baixo São Francisco (CBHSF, 2020).

No Baixo São Francisco, que se estende do município de Paulo Afonso na Bahia até a foz, as atividades econômicas estão fortemente associadas ao setor primário, com destaque para a rizicultura, atividade de fundamental importância para os agricultores locais, tradicionalmente praticada em lagoas e várzeas desde o século XIX (Araújo; Aguiar Netto, 2018).

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos principais cereais produzidos e consumidos globalmente (Martins *et al.*, 2021). Esse cereal representa um alimento básico e diário para mais da metade da população mundial, principalmente nos países em desenvolvimento (Martins *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2021). Nessa conjuntura, o Brasil se destaca como o único país fora da Ásia a estar entre os dez maiores produtores desse grão (Martins *et al.*, 2021).

Um dos principais gargalos da rizicultura é o controle de plantas daninhas, visto que estas competem por luz, água e nutrientes com as plantas de arroz, reduzindo consideravelmente o rendimento dessa cultura (Rodenburg *et al.*, 2022). Assim, estratégias de manejo desses agentes infestante são extremamente necessárias, sendo atualmente o sistema de produção de arroz Clearfield® o sistema mais bem-sucedido e eficaz para o controle de plantas daninhas em arroz (Avila *et al.*, 2021a). O sistema Clearfield® foi desenvolvido pela BASF e MARDI como uma proposta para mitigar infestação de plantas daninhas em áreas de produção de arroz (Ruzmi *et al.*, 2021). Esse sistema faz uso da combinação do uso de variedades tolerantes à imidazolinona com o uso de herbicidas desse mesmo princípio ativo (Gehrke *et al.*, 2021). Todavia, o uso

contínuo de um mesmo mecanismo de ação para o controle de plantas daninhas, proporciona uma pressão de seleção que seleciona populações de plantas daninhas resistentes, o que pode comprometer fortemente o controle dessas espécies (Monteiro; Santos, 2022).

Nesse sentido, diante da importância da rizicultura para a região do Baixo São Francisco, bem como do uso do sistema Clearfield® nessas áreas, esse estudo objetivou identificar espécie de plantas daninhas resistentes a esse sistema nessa região e quantificar o grau de resistências dessas plantas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado uma análise quantitativa das plantas daninhas mais frequentes nas áreas de produção de arroz do Baixo São Francisco, compreendendo as cidades de Igreja Nova (AL) e Neópolis (SE).

Após a identificação, conseguiu-se coletar sementes de 7 populações de arroz daninho, sendo 5 em áreas de produção com o sistema Clearfield ® e 2 em área sem ser do sistema Clearfield ® (P1 e P2), uma área que as populações não tinham passado pelo processo de pressão de seleção proveniente dos herbicidas inibidores da ALS. Como parâmetro foi utilizado a variedade SCS 121 CL e a BRS Catiana, respectivamente resistente e não resistente aos herbicidas do sistema Clearfield ®.

Quadro 1. Locais de origem das sementes utilizadas no experimento

Nº da população	Região	Lotes	População
População 1	Neópolis (SE)	Lote 228	Arroz vermelho
População 2	Neópolis (SE)	Lote 228	Arroz preto
População 3	Neópolis (SE)	Lote 248	Arroz vermelho
População 4	Neópolis (SE)	Lote 243	Arroz preto
População 5	Neópolis (SE)	Lote 243	Arroz vermelho
População 6	-	-	Variedade 121 CL
População 7	Igreja Nova (AL)	Lote 523	Arroz vermelho
População 8	Igreja Nova (AL)	Lote 555	Arroz vermelho
População 9	-	-	BRS Catiana

Após coletadas as sementes, foram desenvolvidos 3 experimentos conduzidos em casa de vegetação, localizada em Rio Largo (AL), no Campus de Engenharia e Ciências Agrárias da

Universidade Federal de Alagoas (9° 28' S, 35 49' W, 127m de altitude), para avaliar a resistência do arroz vermelho ao herbicida. Em cada experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado - (DIC) em esquema fatorial 9 x 5 (populações x doses), com 4 repetições.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos com capacidade de 0,4 dm³, em cada vaso foi colocado 300g de substrato peneirado de textura média.

Foi aplicado o herbicida composto pelos ingredientes ativos imazapir e imazapique respectivamente com a concentração de 525 g kg⁻¹ e 175 g kg⁻¹ do produto comercial Kifix ®. Após 15 dias da semeadura aplicou o herbicida utilizando um pulverizador costal pressurizado a CO₂, munidos de pontas tipo leque Teejet XR 110 02-VS, mantendo-se 0,5 m entre a borda dos vasos e a barra de aplicação e utilizou a pressão constante de 200 Kpa, proporcionando volume de calda de 200 l ha⁻¹. No primeiro ensaio foi utilizado a dosagem de 0; 35; 70; 140 e 280 g ha⁻¹, sendo a dosagem recomendada de 140 g ha⁻¹ pela bula do produto. As populações que foram resistentes a dosagem de 200% foram propagadas em baldes de 10 dm³ em estufas distintas para evitar o cruzamento entre as populações. As sementes (F1) foram utilizadas para constatar a resistência das populações, sabe-se que uma das características de resistência é a herdabilidade, portanto as sementes F1 foram submetidas as doses 0; 105; 210; 420 e 840 g ha⁻¹. As populações que não morreram na dosagem de 6 vezes da recomendada, foi submetida a mais um experimento utilizando as dosagens de 0; 420; 840; 1.680 e 3.360 g ha⁻¹.

Foi realizada a avaliação visual aos 30 dias após a aplicação (DAA), o qual, 0% representa que não houve o controle e 100% representa o controle total da população (SBCPD, 1995). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e quando significativos, e quando significativos, foram geradas curvas de dose-respostas obtidas pelo modelo de regressão não-linear do tipo logístico com 4 parâmetros, utilizando o softwares estatístico Sigmaplot, versão 11.0 (Systat Software Inc., San Jose, Califórnia, EUA).

$$y = y_0 + \frac{a}{\left[1 + \left(\frac{x}{b}\right)^c\right]} \quad (1)$$

Em que:

y = porcentagem de controle;

y₀ = valor de partida da equação;

x = dose do herbicida

a, b e c = parâmetros da curva, de modo que a é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, b é a dose que proporciona a porcentagem de 50% da resposta da variável e c é a declividade da curva (Streibig *et al.*, 1988).

Para a definição de doses ótimas de controle foram calculadas as porcentagens de controle de 50, 80 e 90%, cujo valores foram obtidos a partir das equações geradas das curvas de dose resposta, e representam as doses dos herbicidas (g ha⁻¹), para controle de 50, 80, 90%, respectivamente (Christoffoleti *et al.*, 2006).

Para identificar se a população é resistente, usa-se o Fator de Resistência que é dado através da equação:

$$fr = \frac{r}{s} \quad (2)$$

Em que:

fr = Fator de resistência: > 2 (resistente) < 2 (não é resistente)

r = Dose letal 50%

s = Dose letal 50% da BRS Catiana.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da ANAVA indicaram a ocorrência de interação entre as populações de arroz e as doses aplicadas de herbicida em pós-emergência. Na tabela 2, encontram-se os parâmetros a, b e c gerados a partir da equação log-logística.

Tabela 2. Parâmetros da equação logística utilizada para descrever o percentual de controle de 7 populações de arroz vermelho e 2 variedades de arroz comercial aos 30 dias após a aplicação do herbicida em pós-emergência. Rio Largo, 2022

População	Parâmetros ⁽¹⁾				R ⁽²⁾	F ⁽³⁾	r/s
	A	B	C	y0			
P1	100,3959	-2,3922	18,2218	0,0028	1	11927,369	0,56
P2	99,995	-3,3247	0,0324	0,0025	1	-	0,001
P3	IDM ⁽⁴⁾	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM
P4	153,4956	-0,9544	296,3403	296,3403	-0,3986	28,0252	9,16
P5	166,0677	-0,8054	498,2036	0,1613	0,9973	60,9509	15,4
P6	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM
P7	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM
P8	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM

⁽¹⁾Modelo: $y = y_0 + a/(1+(x/b)^c)$; ⁽²⁾Coefficiente de determinação da curva de regressão; ⁽³⁾Valor de F para regressão não linear; ⁽⁴⁾Impossível determinar pelo modelo.

Para quatro (P3, P6, P7 e P8) das nove populações de arroz não foi possível o ajuste ao modelo, visto que essas plantas se mostraram resistentes ao herbicida, mesmo em doses acima da recomendada (140 g ha^{-1}), não atingiram um percentual de controle de 50%, impossibilitando a obtenção da curva de dose-resposta. Destaca-se ainda, que essa variável é determinada com base no grau de fitotoxicidade do herbicida, refletida na morte da planta desencadeada pela morte do meristema apical. Dessa forma, pequenas variações, como tamanho reduzido, área foliar reduzida, entre outros, não são considerados (Costa; Rizzardi, 2014).

Para as demais populações, as equações utilizadas para descrever a resposta em função das doses crescentes de herbicida apresentaram ajustes satisfatórios, visto que a maioria dessas obtiveram coeficiente de determinação acima de 99% (Tabela 2).

As populações de arroz diferiram entre si quanto a porcentagem de controle exercida pelo herbicida (Figura 1). As doses do herbicida também causaram efeito significativo sobre as espécies estudadas, por meio do qual as curvas indicam diferentes comportamentos para as nove populações de arroz analisadas. Ressalta-se que mesmo na maior dose (280 g ha^{-1}), as populações P4 e P5 não foram controladas em 100%, sendo também consideradas resistentes pelo modelo ($r/s > 2$).

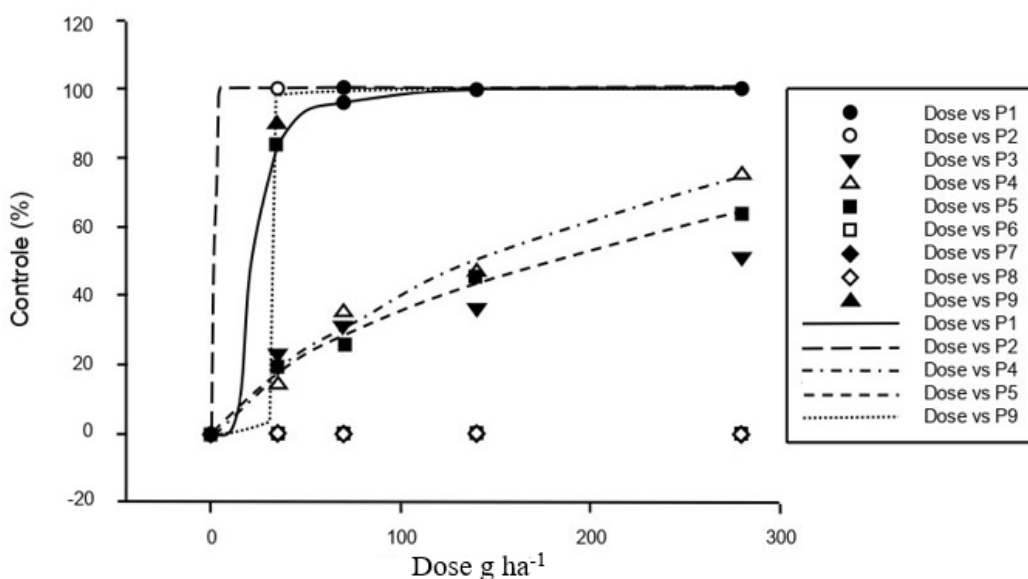


Figura 1. Percentagem de controle de 7 populações de arroz vermelho e 2 variedades de arroz comercial aos 30 dias após a aplicação de imazapir e imazaprique em doses crescentes.

Destaca-se ainda a presença de maior inclinação da curva dose-resposta para essas duas populações (P4 e P5), o que demonstra a presença de uma maior amplitude das doses necessárias para o controle de ambas as populações, como enfatizado por Christoffoleti (2002).

Os materiais que foram resistentes a dose de 200% (280 g ha⁻¹) da dose recomendada (140 g ha⁻¹), foram submetidos a uma nova avaliação (0; 105; 210; 420 e 840 g ha⁻¹), buscando-se constatar a herdabilidade da resistência na F1 dessas populações. Nesse segundo experimento, apenas a P5 não se ajustou ao modelo, já as demais populações apresentaram ajustes satisfatórios, com coeficiente de determinação acima de 80%. As populações P4, P6, P7 e P8 são consideradas resistentes pelo modelo ($r/s > 2$) conforme observado na tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros da equação logística utilizada para descrever o percentual de controle de 5 populações de arroz vermelho e 2 variedades de arroz comercial aos 30 dias após a aplicação do herbicida em pós-emergência. Rio Largo, 2022

População	Parâmetros ⁽¹⁾				R ⁽²⁾	F ⁽³⁾	r/s
	A	B	C	y0			
P3	98,7496	-107,0194	IDM	0,0003	0,9988	138,7	IDM
P4	99,9995	-8,0233	8,1727	0,0002	1	6,6786	3405,292
P5	IDM ⁽⁴⁾	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM	IDM
P6	42,2365	-40,5642	783,7331	0,7814	0,9971	57,8087	326555,5
P7	18,0322	-25,5987	457,1152	0,9261	0,9899	16,1716	190464,7
P8	32,9040	-28,4467	16,0470	0,0002	0,8157	0,6626	6686,25
P9	99,9995	-1,3977	0,0024	0,0003	1	1,982	1

⁽¹⁾Modelo: $y = y_0 + a/(1+(x/b)^c)$; ⁽²⁾Coeficiente de determinação da curva de regressão; ⁽³⁾Valor de F para regressão não linear; ⁽⁴⁾Impossível determinar pelo modelo.

A partir do gráfico de curva de resposta (Figura 2), pode-se observar a diferença de porcentagem de controle entre as 7 populações restantes. Verificou-se que as populações P6, P7 e P8 não atingiram 100% de controle mesmo na maior dose (840 g ha⁻¹), dose essa seis vezes superior a dose recomendada.

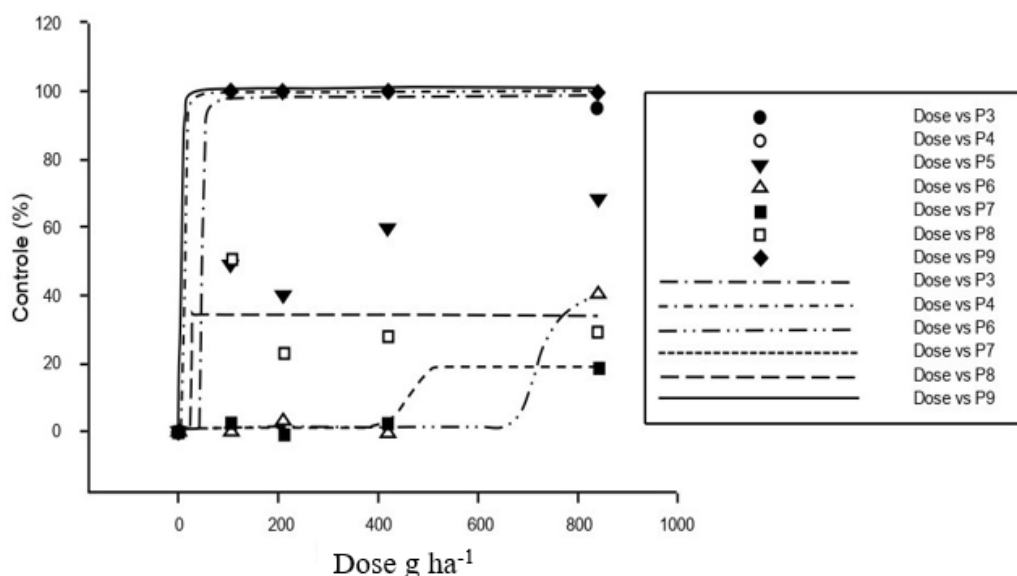


Figura 2. Percentagem de controle de 5 populações de arroz vermelho e 2 variedades de arroz comercial aos 30 dias após a aplicação de imazapir e imazapique em doses crescentes.

As populações remanescentes da aplicação da dose de 840 g ha⁻¹ (P6, P7, P8 e P9) foram submetidas a uma nova aplicação de herbicida, dessa vez nas dosagens de 0, 420, 840, 1.680 e 3.360 g ha⁻¹. Todas as populações se ajustaram ao modelo quanto ao percentual de controle, com coeficientes de determinação acima de 98% (Tabela 4). Destaca-se que das três populações, (P6, P7 e P8) apresentaram r/s > 2, logo, podem ser consideradas resistentes (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros da equação logística utilizada para descrever o percentual de controle de 2 populações de arroz vermelho e 2 variedades de arroz comercial aos 30 dias após a aplicação do herbicida em pós-emergência. Rio Largo, 2022

População	Parâmetros ¹				R ⁽²⁾	F ⁽³⁾	r/s
	A	B	C	Y0			
P6	94,9081	-25,0397	425,3897	0,0003	0,9965	47,5754	17,91
P7	78,5454	-3,2543	605,0573	-0,0074	1	84.823,87	25,48
P8	103,937	-0,4861	425,5029	0,0224	0,9889	14,7938	17,92
P9	99,9996	-79169	23,7455	0,0002	1	IDM ⁴	1

⁽¹⁾Modelo: $y = y_0 + a/(1+(x/b)^c)$; ⁽²⁾Coefficiente de determinação da curva de regressão; ⁽³⁾Valor de F para regressão não linear.

Ainda, os altos valores de r/s em P7 e P8, demonstram que essas populações apresentam alto grau de resistência, com valores superiores a 10, o que é indicativo que o mecanismo de resistência ao imazapir e imazapique é resultante de alteração no sítio de ação e não no metabolismo, como normalmente é verificado em plantas daninhas com baixos valores do fator

r/s (REINERT et al., 2013). Ainda, como relatam Christoffoleti e López-Ovejero (2003), uma vez estabelecida uma população de planta daninha resistente a um herbicida, naturalmente ela não retorna para a frequência original de suscetibilidade.

Mesmo na dose de 2.400% (3360 g ha⁻¹) nas F1, não se atingiu o controle de 100% das populações P7 e P8. Resultados que demonstram o elevado grau de resistência desenvolvido por essas duas populações de arroz vermelho. Ressalta-se que nessa dosagem, até mesmo as variedades comerciais de arroz SCS 121 CL (P6) e a BRS Catiana (P9), respectivamente resistente e não resistente aos herbicidas do sistema Clearfield[®], foram suprimidas (Figura 3). Vale ressaltar que a P8 foi oriunda de um lote com 5 anos no sistema Clearfield[®] e no ano que foi coletada as sementes o agricultor aplicou duas vezes o Kifix[®] e não obteve o controle dessa população. No lote 523, onde está a P7 era o segundo ano no sistema Clearfield[®], porém o agricultor não usa sementes registradas o que pode ter inserido uma população de arroz vermelho altamente resistente.

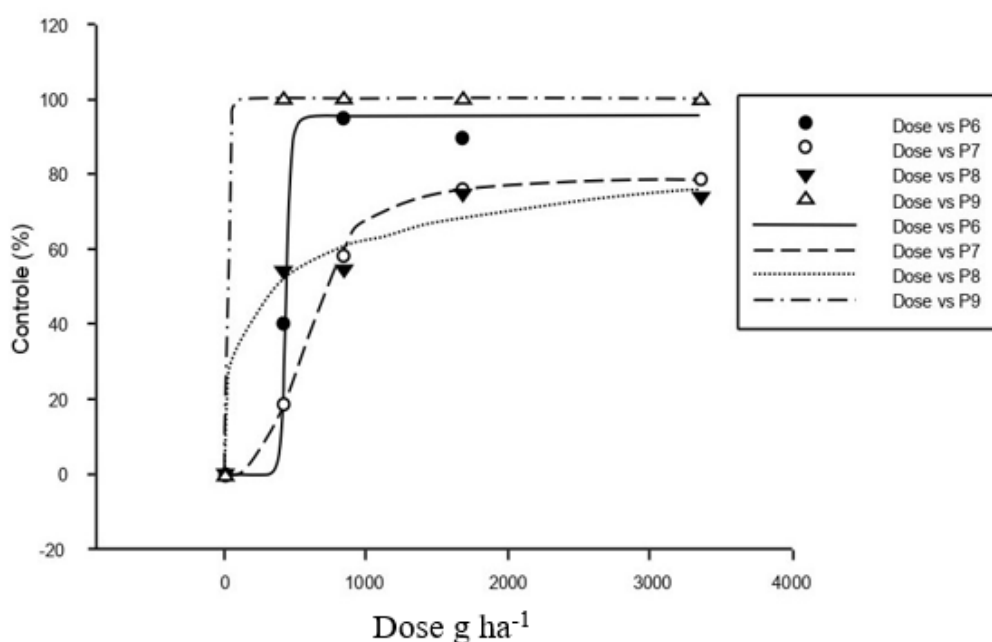


Figura 3. Percentagem de controle de 2 populações de arroz vermelho e 2 variedades de arroz comercial aos 30 dias após a aplicação de imazapir e imazapique em doses crescentes.

Os resultados obtidos atestam a resistência de duas populações de arroz vermelho (P7 e P8) a aplicação de imazapir e imazapique, mesmo em dosagem 24 vezes superior a dose recomendada. Esses achados são importantes por essas populações terem sido coletadas em uma região de destaque na produção de arroz em Alagoas (Igreja Nova). Sendo esse o primeiro estudo que comprova a presença de arroz vermelho resistente a imazapir e imazapique no

estado, além de ser o primeiro no Baixo São Francisco. Os resultados são ainda mais alarmantes por comprovarem que essas duas populações são mais resistentes a esses herbicidas que a própria cultivar do sistema Clearfield® utilizada na região, a SCS 121 CL (P6).

Diversas populações de arroz daninho ao redor do mundo já desenvolveram resistência aos herbicidas imidazolinonas (Goulart *et al.*, 2014), como por exemplo, na Malásia (Dilipkumar *et al.*, 2021) e na Itália (Andres *et al.*, 2014). No Brasil, Avila *et al.* (2021b) relatam que arroz daninho resistente à imidazolinona está presente em 68,4% e 26,6% das lavouras de arroz no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, respectivamente.

Ainda, cabe destacar a pressão de seleção a que estão submetidas as populações P3, P4 e P5, sendo elas oriundas da cidade de Neópolis. Para P3, no primeiro ensaio, a aplicação de 200% da dose recomendada (140 g ha⁻¹) não foi suficiente para atingir um percentual de controle de 50%, entretanto, no segundo ensaio, usando a F1, obteve-se 100% usando 105 g ha⁻¹. Já para P4 e P5, embora tenha se tido controle com 200% da dose recomendada, esse não atingiu 100%, além de que essas populações apresentaram $r/s > 2$. Essa pressão de seleção é derivada de fatores como o uso contínuo por longos períodos do mesmo herbicida e modos de ação em um mesmo campo de produção, especialmente em sistemas de monocultura. Em sistemas de produção de arroz Clearfield®, isso pode ocorrer devido à possibilidade de fluxo gênico desse arroz para o arroz daninho. Posteriormente, este arroz daninho recém-formado ganha as características de tolerância ao herbicida imidazolinona do arroz cultivado (Bzour *et al.*, 2018), o que se dá por meio da transferência de um alelo de resistência a herbicidas para o arroz daninho (Dauer *et al.*, 2017). Ainda, essa pressão de seleção e a formação de populações de arroz daninho resistentes pode ser oriunda de mutação espontânea (Bzour *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, algumas ações podem ser recomendadas para os produtores de arroz do Baixo São Francisco, como a adoção do manejo integrado com rotação de culturas, permitindo assim, a troca de mecanismos de ação do herbicida, além da adoção de estratégias não dependentes do controle químico, visando retardar a evolução de novos casos de resistência (Chiapinotto *et al.*, 2017). Ainda, os produtores não devem realizar o plantio de cultivares de arroz Clearfield® por mais de dois anos consecutivos, e devem realizar o rogue de fugitivos (catação), principalmente na rotação de culturas (Kalsing *et al.*, 2019).

4 CONCLUSÕES

As populações de arroz estudadas apresentam comportamentos distintos em resposta a aplicação de imazapir e imazapique.

Há uma pressão de seleção nas populações P3, P4 e P5, o que pode resultar na resistência destas a aplicação de imazapir e imazapique.

As populações (P7 e P8) de arroz vermelho apresentam resistência ao uso desses herbicidas, mesmo com o uso de dosagem 24 vezes superior a dose recomendada.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, S. S. de; AGUIAR NETTO, A. O. de. (In) sustentabilidade no baixo São Francisco em Sergipe e Alagoas (Brasil). **Água y Territorio / Water and Landscape**, [S. l.], n. 11, p. 83–95, 2018.

AVILA, L. A.; MARCHESAN, E.; CAMARGO, E. R.; MEROTTO, A.; ULGUIM, A. R.; NOLDIN, J. A. et al. Eighteen years of Clearfield™ Rice in Brazil: What have we learned? **Weed Science**, v. 69, n. 5, p. 585-597, 2021b.

AVILA, L. A.; NOLDIN, J. A.; MARIOT, C. H.; MASSONI, P. F.; FIPKE, M. V.; GEHRKE, V. R. 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.

BZOUR, M. I.; ZUKI, F. M.; MISPAN, M. S. Introduction of imidazolinone herbicide and Clearfield® rice between weedy rice—control efficiency and environmental concerns. **Environmental Reviews**, v. 26, n. 2, p. 181-198, 2018.

CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **A Bacia**. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acessado em 06 de outubro de 2020.

CHIAPINOTTO, D. M.; SCHAEGLER, C. E.; FERNANDES, J. P. S.; ANDRES, A.; LAMEGO, F. P. Cross-resistance of rice flatsedge to ALS-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v. 35, p. e017166827, 2017.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Curvas de dose-resposta de biótipos resistente e suscetível de *Bidens pilosa* L. aos herbicidas inibidores da ALS. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 513-519, 2002.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; BORGES, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; MONQUERO, P.A. Carfentrazone-ethyl aplicado em pós-emergência para o controle de *Ipomoea* spp. e *C. benghalensis* na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 83-90, 2006.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 507-515, 2003.

COSTA, L. O.; RIZZARDI, M. A. Resistance of *Raphanus raphanistrum* to the herbicide metsulfuron-methyl. **Planta Daninha**, v. 32, n. 1, p. 181-187, 2014.

DAUER, J.; HULTING, A.; CARLSON, D.; MANKIN, L.; HARDEN, J.; MALLORY-SMITH, C. Gene flow from single and stacked herbicide-resistant rice (*Oryza sativa*): modeling occurrence of multiple herbicide-resistant weedy rice. **Pest Management Science**, v. 74, n. 2, p. 348-355, 2018.

DILIPKUMAR, M.; AHMAD-HAMDANI, M. S.; RAHIM, H.; CHUAH, T. S.; BURGOS, N. R. Survey on weedy rice (*Oryza* spp.) management practice and adoption of Clearfield® rice technology in Peninsular Malaysia. **Weed Science**, v. 69, n. 5, p. 558-564, 2021.

DOMINGUEZ, J. M. L.; GUIMARÃES, J. K. Effects of Holocene climate changes and anthropogenic river regulation in the development of a wave-dominated delta: The São Francisco River (eastern Brazil). **Marine Geology**, v. 435, p. e106456, 2021.

GHEREKHLOO, J.; OVEISI, M.; ZAND, E.; PRADO, R. A review of herbicide resistance in Iran. **Weed Science**, v. 64, n. 4, p. 551-561, 2016.

GOULART, I. C.; BORBA, T. C.; MENEZES, V. G.; MEROTTO, A. Distribution of weedy red rice (*Oryza sativa*) resistant to imidazolinone herbicides and its relationship to rice cultivars and wild *Oryza* species. **Weed Science**, v. 62, n. 2, p. 280-293, 2014.

KALSING, A.; GOULART, I. C. G. D. R.; MARIOT, C. H. P.; MENEZES, V. G.; MATZENBACHER, F. D. O.; MEROTTO, A. Spatial and temporal evolution of imidazolinone-resistant red rice in 'Clearfield' rice cultivations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. e00215, 2019.

MARTINS, G. M. V.; SOUSA, S.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; OLIVEIRA, H. M. L. Modeling the combinatory effects of parboiling and cooking on red paddy rice (*Oryza sativa* L.) properties. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 147, p. e111607, 2021.

MONTEIRO, A.; SANTOS, S. Sustainable Approach to Weed Management: The Role of Precision Weed Management. **Agronomy**, v. 12, p. e118, 2022.

PEREIRA, E. G.; FERREIRA, L. M.; FERNANDES, E. D. C.; LIMA, B. R. D.; SANTOS, L. A.; FERNANDES, M. S. Root morphology and ammonium uptake kinetics in two traditional rice varieties submitted to different doses of ammonium nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, p. 1-14, 2021.

REINERT, C. S.; PRADO, A. B. C. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Curvas de dose-resposta comparativas entre os biótipos resistente e suscetível de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) ao herbicida glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 260-267, 2013.

RODENBURG, J.; TIPPE, D. E.; TOURÉ, A.; IRAKIZA, R.; KAYEKE, J.; BASTIAANS, L. From rice-like plants to plants liking rice: A review of research on weeds and their management in African rice systems. **Field Crops Research**, v. 276, p. e108397, 2022.

RUZMI, R.; AHMAD-HAMDANI, M. S.; ABIDIN, M. Z. Z.; BURGOS, N. R. Evolution of imidazolinone-resistant weedy rice in Malaysia: The current status. **Weed Science**, v. 69, p. 1-34, 2021.

SBCPD. Sociedade Brasileira Da Ciência Das Plantas Daninhas. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. SBCPD, Londrina, Brasil. 1995. 42 p.

SEEFELDT, S. S.; JENSEN, S. E.; FUERST, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technol.**, v. 9, p. 218-227, 1995.

STREIBIG, J. C. Herbicide bioassay. **Weed Research**, v. 28, n. 6, p. 479-484, 1988.