

TOLERÂNCIA INICIAL DA CULTIVAR IACSP95-5000: I - HERBICIDAS EM PRÉ-PLANTIO SOB DISTINTAS TECNOLOGIAS DE CULTIVO

Fabricio Simone Zera¹, Silvano Bianco², Carlos Alberto Mathias Azania³, Ana Regina Schiavetto⁴, Andréa Aparecida de Pádua Mathias Azania⁵

RESUMO:

O sistema de mudas pré-brotadas (MPB) favorece o desenvolvimento do sistema radicular, podendo alterar a interação entre a planta e herbicidas e, conseqüentemente, a tolerância das cultivares. O objetivo deste estudo foi verificar a tolerância inicial da cultivar IACSP95-5000 em condições de plantio em tolete e diferentes sistemas de plantio de mudas pré-brotadas (MPBs) aos herbicidas aplicados no pré-plantio. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial, com quatro repetições, onde foram testadas as tecnologias de plantio e a aplicação de herbicidas no pré-plantio. Os herbicidas foram aplicados 30 dias antes do plantio, e foram avaliados fitotoxicidade, o perfilhamento, a altura e a massa seca. A mistura pendimetalina+trifluralina causou maior injúrias, menor perfilhamento e menor altura. Conclui-se que a cana-de-açúcar IACSP95-5000 apresentou tolerância ao imazapir em seu desenvolvimento inicial, até 90 dias após o plantio, em todas as tecnologias de plantio testadas (tolete, MPB IAC, Plene PB e Plene Evolve), com aplicação realizada 30 dias antes do plantio.

Palavras-chave: controle químico, fitotoxicidade, muda pré-brotada, *Saccharum* spp., seletividade.

INITIAL TOLERANCE OF THE IACSP95-5000 CULTIVAR: I - PRE-PLANTING HERBICIDES UNDER DIFFERENT PLANTING TECHNOLOGIES

ABSTRACT:

The use of pre-sprouted seedlings (PSS) promotes the development of a more robust root system, which may alter the interaction between plants and herbicides and, consequently, affect cultivar tolerance. This study aimed to evaluate the initial tolerance of the sugarcane cultivar 'IACSP95-5000' under billet planting and different PSS systems to herbicides applied before planting. The experiment was conducted in a randomized block design in a factorial arrangement with four replications, evaluating planting technologies and pre-planting herbicide application. Herbicides were applied 30 days before planting, and phytotoxicity, tillering, plant height, and dry mass were assessed. The mixture of pendimethalin + trifluralin caused greater phytotoxicity, reduced tillering, and lower plant height. It was concluded that the sugarcane cultivar 'IACSP95-5000' showed tolerance to imazapyr during early development, up to 90 days after planting (DAP), under all evaluated planting technologies (billet, MPB IAC, Plene PB, and Plene Evolve), when applied 30 days before planting.

Keywords: chemical control, phytotoxicity, pre-sprouted seedlings, *Saccharum* spp., selectivity.

¹Doutor em Agronomia. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCAV/UNESP), Jaboticabal-SP. fabriciozera@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5967-1851>. ²Pesquisador Científico em Centro de Cana-de-Açúcar do Instituto Agrônômico (IAC), Ribeirão Preto-SP. azania.carlos@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0867-2058>. ³Professor Associado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCAV/UNESP), Jaboticabal-SP. silvano.bianco@unesp.br, <https://orcid.org/0000-0003-3025-7950>. ⁴Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCAV/UNESP), Jaboticabal-SP. ana.schiavetto@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7123-00015>. ⁵Pesquisadora na Procultivare Pesquisa e Desenvolvimento, Ribeirão Preto-SP. andrea.azania@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5273-6122>.

INTRODUÇÃO

A adoção do sistema de Mudanças Pré-Brotadas (MPB) otimiza significativamente o plantio da cana-de-açúcar ao reduzir o consumo de biomassa. Enquanto o método convencional em palha demanda cerca de 18 toneladas de colmos por hectare, o sistema MPB requer apenas de uma a cinco toneladas para cobrir a mesma área (Landell et al., 2012). Para a produção de MPB, é essencial o uso de mudas de cana-de-açúcar com idade de 6 a 10 meses, originárias de viveiros saudáveis e submetidas a tratamento térmico. Vale destacar que a escolha das cultivares deve ser criteriosa, visando o melhor desempenho no campo (Xavier et al., 2014a).

Para garantir a qualidade das mudas, o substrato desempenha um papel fundamental, pois ele fornece a sustentação para a absorção de nutrientes, água e oxigênio. Além disso, é um meio adequado ao crescimento do sistema radicular, resultando em plantas mais saudáveis e produtivas (Xavier et al., 2014b).

As metodologias para a produção de mudas pré-brotadas oscilam conforme o protocolo de cada empresa, envolvendo variações em composições de substratos e tecnologias de propagação, como os sistemas MPB IAC, Plene® PB e Plene® Evolve. Embora essas tecnologias permitam o uso de diversas variedades (como a IACSP95-5000), a gestão fitossanitária permanece um desafio crítico. O raquitismo-da-soqueira (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*), por exemplo, exige monitoramento rigoroso por ser uma patologia de difícil diagnose e de transmissão sistêmica via propagação vegetativa, podendo persistir mesmo após o tratamento térmico por termoterapia (May e Ramos, 2019).

Diferente do sistema convencional, o plantio de MPB introduz no solo uma estrutura com sistema radicular já estabelecido. Consequentemente, em aplicações de herbicidas em pré-emergência das plantas daninhas, sejam elas realizadas antes ou após o transplante (pós-MPB), as raízes da cana-de-açúcar ficam posicionadas diretamente na zona de tratamento. Esse contato imediato pode comprometer a seletividade do herbicida e a tolerância da cultura, resultando em danos fitotóxicos significativos (Dias et al., 2019), o que reforça a necessidade de estudos que identifiquem o momento ideal de aplicação.

No manejo químico de plantas daninhas, a seletividade é um fator determinante e deve considerar a tolerância intrínseca da cultivar de cana-

de-açúcar. Essa tolerância não é isolada, mas sim o resultado da complexa interação entre as propriedades do herbicida, a biologia da planta daninha, a fisiologia da cultura e as condições edafoclimáticas vigentes no momento da aplicação (Azania et al., 2014).

Segundo os autores, a tolerância das cultivares de cana-de-açúcar é determinada por um conjunto de características intrínsecas, como a absorção e translocação diferencial, a capacidade de metabolização de herbicidas em compostos menos tóxicos, a idade da planta e sua variabilidade genética, além da presença de antídotos ou protetores (*safeners*). Além disso, fatores de manejo como a dosagem, o estágio fenológico no momento da aplicação e a tecnologia utilizada são decisivos para a seletividade final (Peterson et al., 2015).

Consequentemente, os sintomas de fitotoxicidade observados nas plantas são comuns em plantas jovens, porque as estruturas anatômicas que sustentam a dinâmica dos herbicidas nas plantas ainda não estão totalmente desenvolvidas (Azania e Azania, 2014), o que também acontece para MPB. Em herbicidas aplicados no pré-plantio, a localização espacial do produto em relação à planta é um fator importante que afeta a seletividade do tratamento da cultura, bem como suas propriedades físico-químicas no tecido vegetal (Dias et al., 2017).

As propriedades físico-químicas de cada herbicida são intrínsecas à sua composição atômica, arranjo estrutural e grupos funcionais. Essas características, em interação com os atributos do ambiente, definem o comportamento da molécula no sistema solo-planta-atmosfera. Sob essa perspectiva, os herbicidas estão sujeitos a processos de transporte, transformação e retenção no solo (Monquero e Silva, 2021), os quais determinam diretamente tanto a eficácia no controle das comunidades infestantes quanto a seletividade e tolerância das culturas.

A literatura científica ratifica que a tolerância aos herbicidas é um traço altamente dependente do genótipo. Ferreira et al. (2005) observaram que a cultivar RB855153 apresenta maior sensibilidade à mistura formulada de trifloxissulfurom-sódico + ametrina quando comparada às variedades RB835486, RB845210, RB867515 e RB928064. De forma análoga, Pimentel et al. (2021) demonstraram que, embora o herbicida tembotriona seja seletivo para as cultivares RB867515, RB966928, RB855156 e RB93509 em aplicações precoces de pós-emergência, promove uma redução significativa no

acúmulo de biomassa seca na IACSP95-5000, evidenciando a vulnerabilidade deste material genético.

Apesar da crescente adoção do sistema de mudas pré-brotadas, ainda há lacunas quanto à seletividade de herbicidas aplicados em pré-plantio nesse sistema, especialmente considerando a interação direta das raízes com a zona tratada. Nesse contexto, observa-se uma escassez de informações técnico-científicas acerca do comportamento de herbicidas aplicados em pré ou pós-plantio no sistema MPB para as cultivares presentes no mercado, mesmo para moléculas com seletividade recomendada em bula para o sistema convencional. Diante dessa lacuna, faz-se necessário investigar a tolerância inicial da cultivar de cana-de-açúcar 'IACSP95-5000' ao manejo químico.

O presente estudo objetivou verificar a tolerância inicial da cultivar IACSP95-5000 de cana-de-açúcar, com diferentes tecnologias de plantio (tolete, MPB IAC, Plene® PB e Plene® Evolve), utilizando os herbicidas no pré-plantio para o controle de plantas daninhas.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e condução experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro Avançado de Pesquisa em Cana-de-Açúcar no Centro de Cana, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em Ribeirão Preto, SP. A área experimental localiza-se nas coordenadas geográficas 21°12'30,01" S e 47°52'34,05" W, com altitude média de 632 m.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico de inverno seco), caracterizado por verões quentes e chuvosos. Durante a condução do experimento, as condições meteorológicas registradas pelo Centro Integrado de Informação Agrometeorológica (CIAGRO) indicaram uma temperatura média de 21,70 °C, com médias mensais mínima e máxima de 15,44 °C e 27,94 °C, respectivamente. A precipitação acumulada no período experimental foi de 185,40 mm. A irrigação dos vasos foi realizada diariamente, por reposição hídrica manual, de modo a manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo, evitando-se déficit hídrico e drenagem excessiva pelos orifícios do vaso.

Durante todo o período de condução do experimento as plantas foram mantidas em boas

condições de manejo, onde os vasos de cana-de-açúcar se mantiveram sempre molhadas, e realizadas os monitoramentos de pragas e plantas daninhas, evitando qualquer tipo de interferência no experimento.

Material genético e tecnologias de plantio

A cultivar adotada no experimento foi a IACSP95-5000, desenvolvida pelo Centro de Cana do IAC, que se caracteriza por alta produtividade em condições favoráveis. A planta apresenta crescimento ereto e excelente brotação a partir das gemas, com bom perfilhamento e fechamento entre as linhas. Possui arquitetura foliar arqueada, sem queda ou florescimento, além de ser resistente às principais doenças (Landell et al., 2007).

Entre as tecnologias de plantio, o sistema de plantio por toletes, consistiu na seleção e corte manual de colmos em um talhão da cultivar no Centro de Cana do IAC. Estes foram serrados em toletes de uma única gema (3 cm de diâmetro e 3 cm de comprimento total), garantindo 1,5 cm de talo de cada lado da gema. Imediatamente, após o corte, o material foi submetido a tratamento térmico a 52 °C por 30 minutos, protocolo estabelecido para a eliminação da bactéria *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* proposto por Xavier et al. (2014a).

O sistema de plantio por MPB, as tecnologias utilizadas foram MPB IAC, Plene® PB e Plene® Evolve, fornecidas por suas respectivas fabricantes, a primeira pelo IAC e as duas últimas pela Syngenta. Cada tecnologia oferece técnicas diferentes para as mudas, que diferem em substrato, fertilização e tratamento fitossanitário, bem como no tempo final do ciclo de comercialização. Desta forma a MPB IAC estava com 60 dias de brotadas, enquanto o Plene® PB com 20 meses e o Plene® Evolve, nove meses.

De acordo com o comunicado oficial da empresa (Syngenta, 2014), o Plene® PB e o Plene® Evolve foram desenvolvidos especificamente para a produção em viveiros e o replantio de falhas. Enquanto o sistema Plene® Evolve foca na base de multiplicação, o Plene® PB entrega mudas pré-brotadas já estabelecidas. Ambas as tecnologias são complementadas pelo sistema de tecidos encapsulados, que visa ganho de escala e redução de custos operacionais no plantio comercial.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x10, com quatro repetições. O primeiro fator foi a tecnologia de plantio: tolete, MPB IAC, Plene®PB e Plene®Evolve, da cv. IACSP95-5000 de cana-de-

açúcar. O segundo fator foram os herbicidas aplicados antes do plantio, com 10 tratamentos, descritos na tabela 1. As doses seguiram as recomendações da bula dos produtos e orientações do fabricante (Rodrigues e Almeida, 2018).

Tabela 1. Descrição dos herbicidas aplicados em pré-plantio nas tecnologias de plantio da cv. IACSP95-5000 de cana-de-açúcar.

Trat.	Ingrediente ativo	Produto comercial	Grupo Químico	Modo de Ação		Dose ha ⁻¹	
				HRAC/WSSA		g i.a.	p.c.
T1	pendimetalina	Herbadox 400 EC	dinitroanilinas	K1/3		2000	5 L
T2	trifluralina	Premerlin 600 EC	dinitroanilinas	K1/3		3600	6 L
T3	pendimetalina +	Herbadox 400 EC	dinitroanilinas	K1/3		2000	5 L
	trifluralina	Premerlin 600 EC	dinitroanilinas	K1/3		3600	6 L
T4	diurom +		ureias	C2/5		1387	
	hexazinona +	Front WG	triazinonas	C1/5		390	2,3 L
	sulfometurom-metílico		sulfoniluréias	B/2		334	
T5	imazapique	Plateau	imidazolinonas	B/2		245	350 g
T6	imazapir	Contain	imidazolinonas	B/2		500	2 L
T7	s-metolaclo	Dual Gold	cloroacetanilidas	K3/15		1920	2 L
T8	amircabazona	Dinamic 700 WG	triazolinonas	C1/5		1400	2 kg
T9	clomazona	Gamit Star	isoxazolidinonas	F4/13		1200	1,5 L
T10	Testemunha	---	---	---		---	---

EC - concentrado Emulsionável; WG - grânulos dispersíveis em água. HARC - Comitê de Ação à Resistência aos Herbicidas do Brasil; WSSA - Weed Science Society of America (Sociedade Americana de Ciência das Plantas Daninhas); i.a. - ingrediente ativo; p.c. - produto comercial.

Instalação do experimento

O experimento foi realizado em vasos com capacidade de 40 dm³. Cada vaso com uma planta representou uma parcela experimental. Os vasos foram preenchidos com solo de um Latossolo

Vermelho de textura argilosa. De acordo com a análise química do solo (Tabela 2), não foi necessária a calagem, apenas a adubação de plantio, utilizando a dose de 500 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 04-20-20 (N-P-K).

Tabela 2. Dados da análise química e física do solo utilizado no experimento de tolerância da 'IACSP5000' sob distintas tecnologias de plantio de cana-de-açúcar.

Análise Química										
pH	M.O. g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al	SB	CTC	V %
6,6	8	3	0,74	30,4	4,8	14	0,1	25,9	49,9	72
Análise Física										
Areia	Argila (g kg ⁻¹)	Silte	Classificação textural							
168	581	251	Argiloso							

Fonte: Laboratório DMLab (Ribeirão Preto – SP).

O plantio dos toletes e o transplante das MPBs foram realizados 30 dias após a aplicação do herbicida. Os toletes e o Plene® Evolve foram plantados a uma profundidade de cinco centímetros, enquanto o MPB IAC e o Plene® PB foram plantados

a uma profundidade de 10 cm, seguindo as recomendações técnicas.

Os herbicidas foram aplicados utilizando um pulverizador costal de pressão constante (mantida por CO₂ comprimido), equipado com uma barra contendo

quatro bicos de pulverização do tipo jato plano (XR110015), espaçados a 0,5 m, com volume de pulverização equivalente a 220 L ha⁻¹. No momento da aplicação, as condições meteorológicas eram de temperatura média de 25,10 °C, ventos com velocidade média de 5,4 km h⁻¹ e umidade relativa de 68,7%, apresentando condições aceitáveis para a mitigação de perdas hídricas e exsudação de gotas conforme destacam Griesang e Ferreira (2021).

Variáveis analisadas

As avaliações foram realizadas em três épocas distintas para melhor caracterização da resposta inicial da cultura aos herbicidas. No experimento, aos 60, 90 e 120 dias após a aplicação (DAA), equivalente aos 30, 60 e 90 dias após o plantio (DAP), foram avaliados os sintomas visuais de fitotoxicidade (injúria). Aos 60 e 120 DAA o número e a altura dos perfilhos (em cm) e, ao final do experimento, aos 120 DAA, a massa seca (em g) da cana-de-açúcar.

As avaliações visuais da fitotoxicidade nas plantas de cana-de-açúcar foram realizadas utilizando escalas de 0 a 100%, em que zero representa a ausência de danos visuais e 100 a morte da planta, segundo a escala de avaliação da European Weed Research Council (EWRC, 1964), adaptada por Rolim (1989).

O número de perfilhamento foi realizado pela contagem dos perfilhos de cada planta (vaso) e a altura das plantas foi medida com uma fita métrica, medindo-se a distância do solo até a folha totalmente expandida da cana-de-açúcar (folha +3), para cada tratamento. A massa seca foi obtida após o corte rente o solo e a secagem do material, em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até atingir massa constante.

Análise estatística

Os resultados foram submetidos a uma análise de variância pelo teste *F*. Os efeitos dos tratamentos, quando significativos, foram comparados com o teste de *Tukey* ($p < 0,05$). O programa estatístico utilizado foi o *Agroestat* (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 1 são observados os valores das notas de fitotoxicidade visual na cultivar IACSP95-5000, em apenas dois momentos de avaliação, aos 60 e 90 DAA, pois aos 120 DAA esses sintomas haviam desaparecidos. Os resultados revelam como as diferentes tecnologias de plantio (tolete, MPB IAC, Plene® PB e Plene® Evolve) respondem aos tratamentos herbicidas (T1 a T10).

Aos 60 DAA, neste período inicial, observou-se os maiores níveis de injúria, sugerindo que a planta ainda está processando o estresse químico inicial. Em quase todas as tecnologias (exceto Plene® Evolve), o pendimetalina+trifluralina (T3) causou os maiores índices de fitotoxicidade, chegando a 35% no tolete e 25% na MPB IAC (Figura 1), classificados como sintomas leves na cana-de-açúcar de acordo com Rolim (1989).

O sistema de plantio de tolete apresentou, de forma geral, sintomas mais acentuados para os tratamentos pendimetalina (T1), trifluralina (T2), pendimetalina+trifluralina (T3) e imazapique (T5) em relação aos demais, porém também leves (Figura 1). O Plene® Evolve, foi a tecnologia que demonstrou a maior seletividade ou segurança inicial aos 60 DAA, com a maioria dos tratamentos mantendo-se abaixo de 10% de fitotoxicidade.

Enquanto aos 90 DAA, nota-se uma tendência geral de redução dos sintomas em comparação aos 60 DAA, indicando a capacidade de recuperação da cultivar IACSP95-5000. A mistura de pendimetalina+trifluralina (T3) continua sendo o tratamento mais severo entre eles, porém com valores reduzidos (máximo de 30% no tolete).

Curiosamente, enquanto outras tecnologias reduziram os sintomas, o Plene® Evolve mostrou um aumento na fitotoxicidade para os tratamentos pendimetalina (T1) e pendimetalina+trifluralina (T3) aos 90 DAA (atingindo 20%), o que pode indicar uma absorção ou manifestação mais tardia nestas mudas. Os tratamentos diurom+hexazinona+sulfometurom (T4), s-metolacloro (T7) e amircabazona (T8) apresentaram sintomas nulos ou insignificantes (próximos a 0%) em praticamente todas as tecnologias de plantio aos 90 DAA, sendo mais tolerantes para a cultivar nessas tecnologias de plantio.

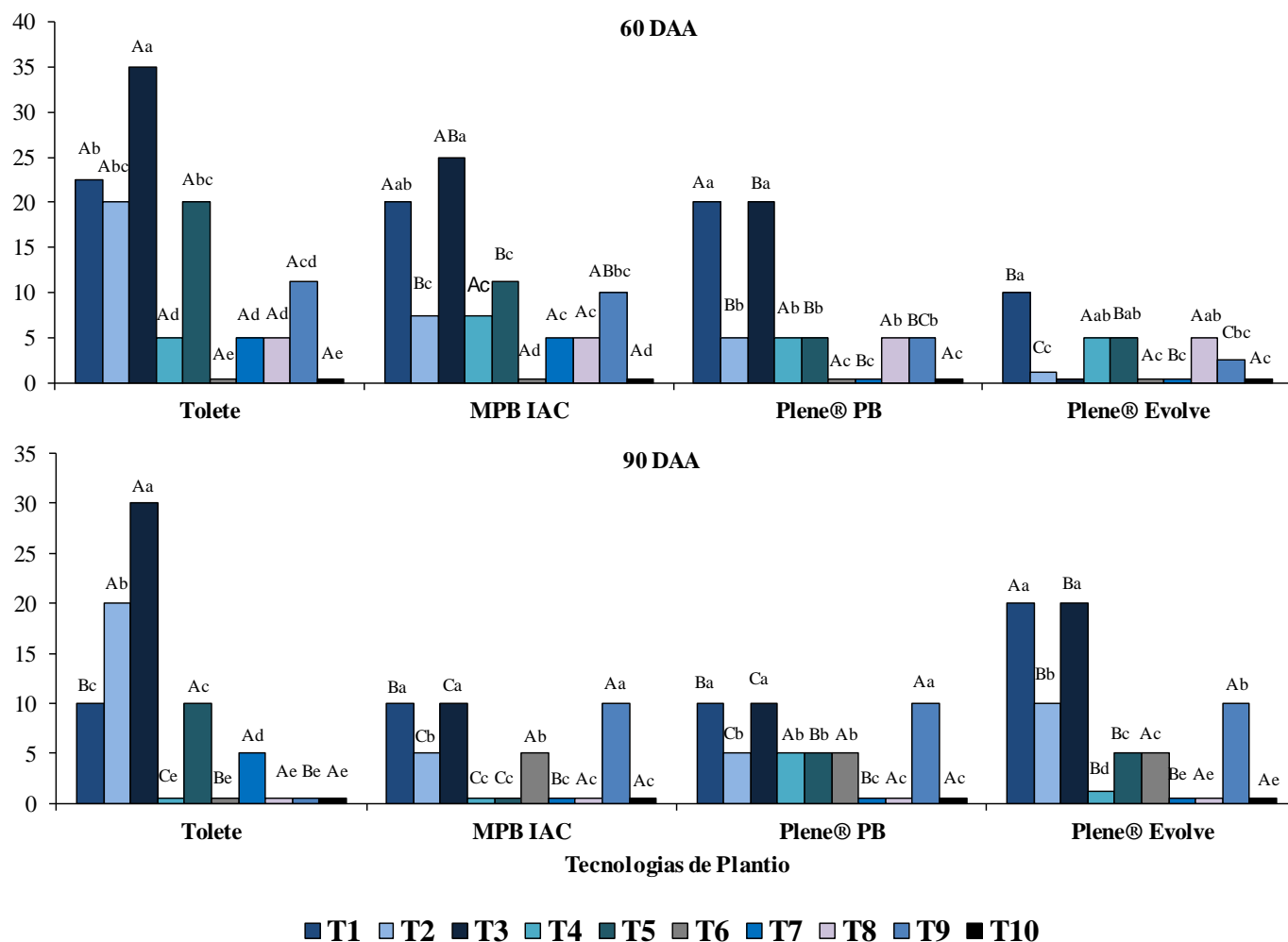


Figura 1. Percentagem de sintomas visuais de fitotoxicidade na cv. IACSP95-5000 de cana-de-açúcar aos 60 e 90 DAA. Letras maiúsculas diferenciam tecnologias de plantio e letras minúsculas, herbicidas. $CV_{60DAA} = 20,69\%$, $CV_{90DAA} = 6,09\%$.

Os ingredientes ativos, pendimetalina e trifluralina, pertencem ao grupo químico das dinitroanilinas, que inibem a formação de microtúbulos ligando-se à tubulina, a principal proteína envolvida na formação dos microtúbulos (local de ação). O complexo herbicida-tubulina inibe a polimerização dos microtúbulos, resultando em deformação física e perda de função. Plantas sensíveis apresentam inibição da mitose na prometáfase, devido à interrupção da polimerização da tubulina e da formação dos microtúbulos. O efeito não envolve necessariamente a inibição da germinação, mas causa inibição do crescimento radicular, caracterizada morfologicamente pelo inchaço das pontas das raízes sensíveis, acompanhado pela redução ou interrupção da divisão celular, embora a expansão radial das células seja mantida (Chen et al., 2021).

O imazapique, por sua vez, causou sintomas de injúria no plantio em MBP IAC, Plene® PB e

Plene® Evolve, com fitotoxicidade variando de 5 a 10% (sintomas leves). Resultados semelhantes foram verificados em relação à injúria causada por este herbicida em pré-emergência em MPB Plene da cultivar de cana-de-açúcar SP81-3250 (Bertolino e Alves, 2014). O imazapique atua inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), impedindo a biossíntese de aminoácidos de cadeia ramificada (leucina, isoleucina e valina), afetando assim a síntese de proteínas e, conseqüentemente, a síntese de DNA e o crescimento celular (Garcia et al, 2017). Como resultado, observa-se redução no tamanho e clorose das folhas em plantas de cana-de-açúcar (Reis et al., 2019).

Aos 120 DAA (ou 90 DAP), os sintomas visuais desapareceram na cultivar de cana-de-açúcar IACSP95-5000, portanto os resultados não são mostrados na Figura 2. Isso destaca o possível efeito do metabolismo diferencial da planta, que dessa forma compostos não tóxicos e proporciona

recuperação durante seu desenvolvimento inicial (Prakash et al., 2020).

Ao avaliar o perfilhamento (Figura 2) e a altura (Figura 3) da cultivar de cana-de-açúcar IACSP95-5000, observou-se um aumento tanto no número de perfilhos quanto na altura das plantas entre

60 e 120 DAA, indicando que a cana-de-açúcar metabolizou os herbicidas. No entanto, houve diferenças significativas entre os tratamentos com herbicidas dentro das tecnologias de cultivo (tolete, MPB IAC, Plene® PB e Plene® Evolve).

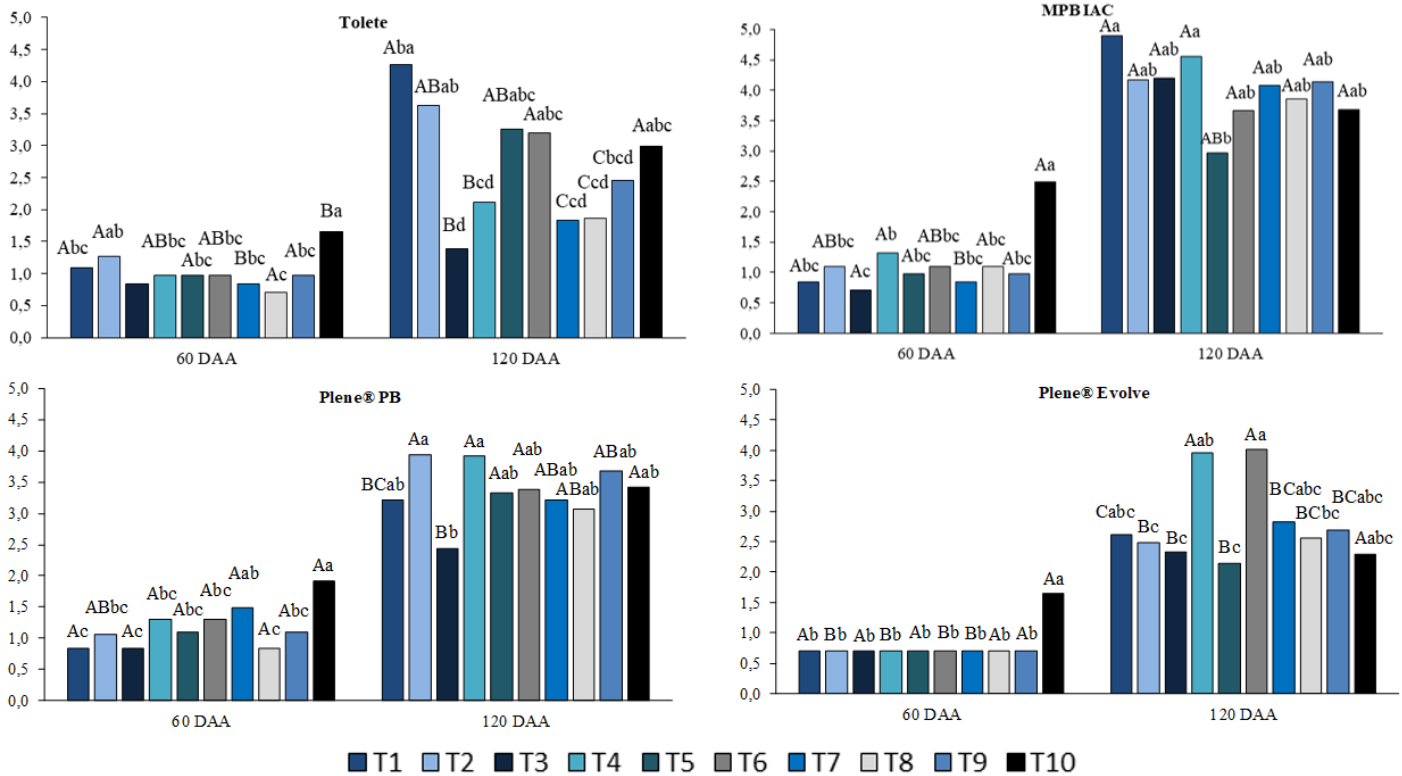


Figura 2. Número de perfilhos da cv. IACSP95-5000 de cana-de-açúcar aos 60 e 120 DAA. Letras maiúsculas diferenciam tecnologias de plantio e letras minúsculas, herbicidas. Dados transformados: raiz ($x+0,5$). $CV_{60DAA} = 23,33\%$, $CV_{120DAA} = 19,30\%$.

Quanto ao efeito das tecnologias de plantio, a tecnologia de mudas pré-brotadas, como a MPB IAC, demonstrou superioridade produtiva aos 120 DAA, mantendo médias elevadas de perfilhamento na maioria dos tratamentos herbicidas. Esse comportamento sugere que o uso de mudas pré-brotadas confere maior resiliência ao sistema, possivelmente devido ao sistema radicular já estabelecido no momento do plantio, o que otimiza a brotação de perfilhos secundários mesmo sob pressão química. Em contrapartida, a tecnologia de tolete apresentou maior vulnerabilidade, com reduções significativas no perfilhamento em tratamentos como pendimetalina+trifluralina (T3) e s-metolaclo (T7).

No que tange à seletividade dos herbicidas, os resultados aos 120 DAA revelaram que o tratamento pendimetalina (T1) apresentou excelente seletividade na tecnologia tolete, igualando-se estatisticamente à testemunha sem aplicação (T10). Por outro lado, o sistema Plene® Evolve mostrou-se o mais estável aos 60 DAA, não apresentando diferenças estatísticas expressivas entre os herbicidas testados. Contudo, aos 120 DAA, a tecnologia Plene® PB exibiu quedas de perfilhamento no tratamento pendimetalina+trifluralina (T3), evidenciando que o efeito fitotóxico de certos herbicidas pode ser latente, manifestando-se de forma mais clara durante a fase de crescimento da cultura.

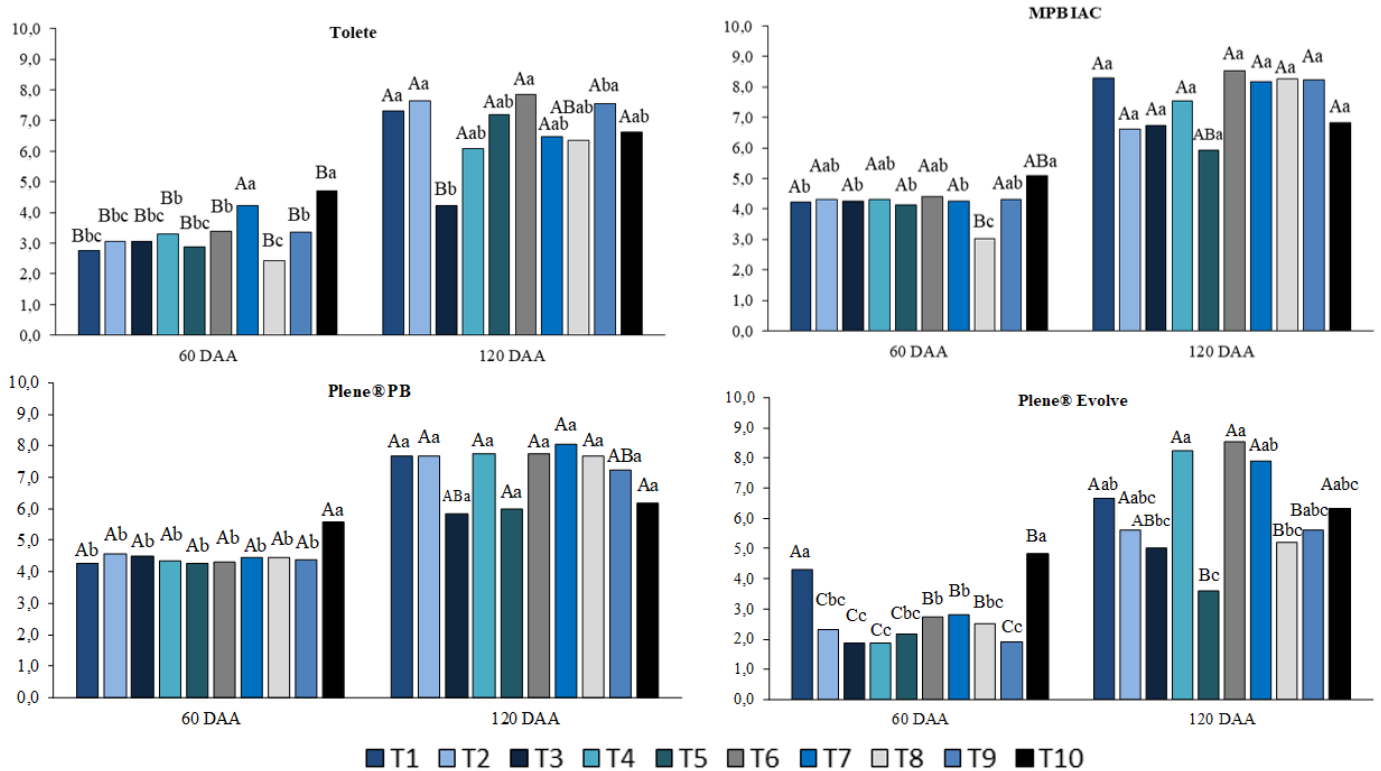


Figura 3. Altura (cm) da cv. IACSP95-5000 de cana-de-açúcar aos 60 e 120 DAA. Letras maiúsculas diferenciam tecnologias de plantio e letras minúsculas, herbicidas. Dados transformados: $\text{raiz}(x+0,5)$. $\text{CV}_{60\text{DAA}} = 9,59\%$, $\text{CV}_{120\text{DAA}} = 18,61\%$.

Em suma, a cv. IACSP95-5000 apresenta respostas diferenciadas ao manejo herbicida conforme o método de propagação. A tecnologia MPB IAC consolida-se como a mais vigorosa e tolerante aos tratamentos químicos avaliados, enquanto o uso de toletes exige maior critério na seleção das moléculas para evitar o retardamento do fechamento do dossel e a consequente perda de produtividade por metro linear.

A superioridade no estabelecimento inicial das MPBs deve-se ao fato de o propágulo já possuir raízes funcionais e área foliar ativa no momento do transplante. Segundo Landell et al. (2012), essa arquitetura permite que a planta maximize a absorção de nutrientes e água imediatamente após a fixação no solo, acelerando a transição para a fase de perfilhamento intenso, o que justifica as maiores médias observadas em relação aos métodos convencionais de plantio por colmos.

A sensibilidade varietal a herbicidas é amplificada pelo método de propagação. Conforme discutido por Giraldele et al. (2018), o uso de herbicidas pré-emergentes em sistemas de plantio mecanizado (toletes) pode causar um efeito barreira ou lixiviação para a zona da gema, retardando a brotação. No presente estudo, a queda no número de

perfilhos aos 120 DAA sugere que o estresse oxidativo causado pelos tratamentos pendimetalina+trifluralina (T3) e s-metolaclo (T7) ultrapassou a capacidade de recuperação metabólica da cultivar nessa tecnologia específica.

Estudos de Azania et al. (2014) reforçam que cultivares de alto desempenho, como a IACSP95-5000, demandam um manejo de plantas daninhas que minimize o atraso de fechamento da entrelinha. A manutenção de altos índices de perfilhamento na testemunha (T10) e no sistema MPB IAC sob diversos herbicidas demonstra a plasticidade fenotípica desta cultivar, sendo o sistema de mudas pré-brotadas o mais indicado para garantir o estande quando o histórico da área exige moléculas de maior efeito residual.

A dinâmica de perfilhamento observada corrobora os achados de Ferreira et al. (2005), os quais afirmam que a cana-de-açúcar possui mecanismos de compensação fisiológica. Mesmo com fitotoxicidade inicial aos 60 DAA, a emissão de perfilhos secundários e terciários tende a uniformizar o estande até os 120 DAA, desde que a molécula herbicida não comprometa o meristema apical de forma irreversível.

A seletividade da trifluralina pode ser devida à insensibilidade do sítio de ação, ao metabolismo diferencial ou ao posicionamento diferencial do herbicida em relação ao banco de sementes ou ao sistema radicular da planta (Vidal e Fleck, 2021). Isso se justifica pelo material genético (IACSP95-500) e pela condição de aplicação do herbicida, aplicação na planta, onde o perfil do solo deixa de ser um fator de seletividade. Portanto, as causas prováveis da seletividade são a insensibilidade do sítio de ação e/ou o metabolismo diferencial na alteração da tolerância da cultivar IACSP95-5000 à mistura desses herbicidas.

Recomenda-se que a aplicação de herbicidas seja feita no sistema de plantio direto (MPB) não na fase de formação das raízes, imediatamente após o transplante, mas sim antes do plantio e após o estabelecimento das mudas. Isso ocorre porque o MPB permite que as raízes formadas pelas mudas permaneçam na mesma camada de solo que os herbicidas, o que pode levar a alterações na tolerância das variedades de cana-de-açúcar, comum em plantas jovens devido ao desenvolvimento incipiente do tecido vegetal. Isso facilita a dinâmica dos herbicidas nas plantas (Azania et al., 2014), que também mostra resultados de fitotoxicidade.

Nas aplicações pré-plantio de tembotriona (doses de 50,4; 75,6; 100,8 g ha⁻¹) antes do plantio da cana-de-açúcar, cv. IACSP95-5000, observou-se redução no número de perfilhos aos 0, 20 e 40 dias após o plantio (Pimentel et al., 2021). Contudo, não foi observada diferença no perfilhamento da cana-de-açúcar, cv. RB985476, quando o imazapic (doses de 66,5, 133 e 266 g ha⁻¹) foi aplicado em comparação com o controle aos 60 dias após a semeadura (DAA) (Giraldeli et al., 2018). O perfilhamento e a espessura do colmo das cultivares podem ser afetados pela aplicação de herbicidas, mas deve haver uma interação significativa entre cultivares e herbicidas (Zera et al., 2011).

Em relação à massa seca (Figura 4), não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos nas distintas tecnologias de cultivo da cana-de-açúcar, mas no plantio em tolete, os tratamentos com pendimetalina (T1), pendimetalina + trifluralina (T3), diurom + hexazinona + sulfometiuró-metílico (T4), imazapique (T5) e clomazona (T9) resultaram em massas menores. Quando plantados em MPB IAC, os herbicidas

pendimetalina (T1), trifluralina (T2), a mistura pendimetalina+trifluralina (T3) e s-metolaclo (T7) foram os que mais afetaram a massa da planta. Em Plene® PB, foram pendimetalina (T1), diurom+hexazinona+sulfometiuró-metílico (T4), imazapique (T5) e amicarbazona (T8), e em Plene® Evolve, s-metolaclo que mais afetaram a massa seca da planta.

Um resultado diferente foi obtido na massa seca de MPB IAC, cv. IACSP95-5000, sob a aplicação pós-plantio de diferentes herbicidas: imazapique (245 g ha⁻¹); diclosulam (88,2 g ha⁻¹) + s-metolaclo (1920 g ha⁻¹); imazapir (500 g ha⁻¹); diclosulam (88,2 g ha⁻¹) + oxifluorfen (1200 g ha⁻¹); amicarbazona (2100 g ha⁻¹); trifluralina (4240 g ha⁻¹) + pendimetalina (1750 g ha⁻¹); sulfentrazone (800 g ha⁻¹). Não houve diferenças entre os tratamentos em comparação com o controle, indicando que a cultivar é tolerante nessas condições (Belucci et al., 2015).

No cultivo da cana-de-açúcar, a análise de crescimento tem sido utilizada como um instrumento importante para avaliar o desempenho das variedades (Marafon, 2012), verifica-se, assim, o efeito promovido por diferentes níveis de estresse de herbicidas durante essa fase de desenvolvimento e crescimento das plantas até 90 DAP, compreendida pelo período fenológico de perfilhamento da cana-de-açúcar, que pode durar até aproximadamente 120 dias (Gascho e Shih, 1983).

Tolete apresentou desenvolvimento prejudicado neste período pelos herbicidas pendimetalina (T1), diurom + hexazinona + sulfometiuró-metílico (T4), imazapique (T5) e clomazona (T9). MPB IAC por pendimetalina, trifluralina, isolada (T1 e T2) e em mistura (T3). Plene® PB por pendimetalina (T1), imazapique (T5) e amicarbazona (T8). Plene® Evolve por s-metolaclo (T7). No entanto, a cultivar pode apresentar capacidade de recuperação durante seu ciclo fenológico.

Conhecer o efeito dos herbicidas aplicados antes do plantio de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar permite que técnicos e produtores manejem as variedades de forma mais adequada e planejem o controle de plantas daninhas com maior eficiência, programando o plantio de forma que o período crítico de interferência de plantas daninhas se aproxime do fechamento das linhas de plantio.

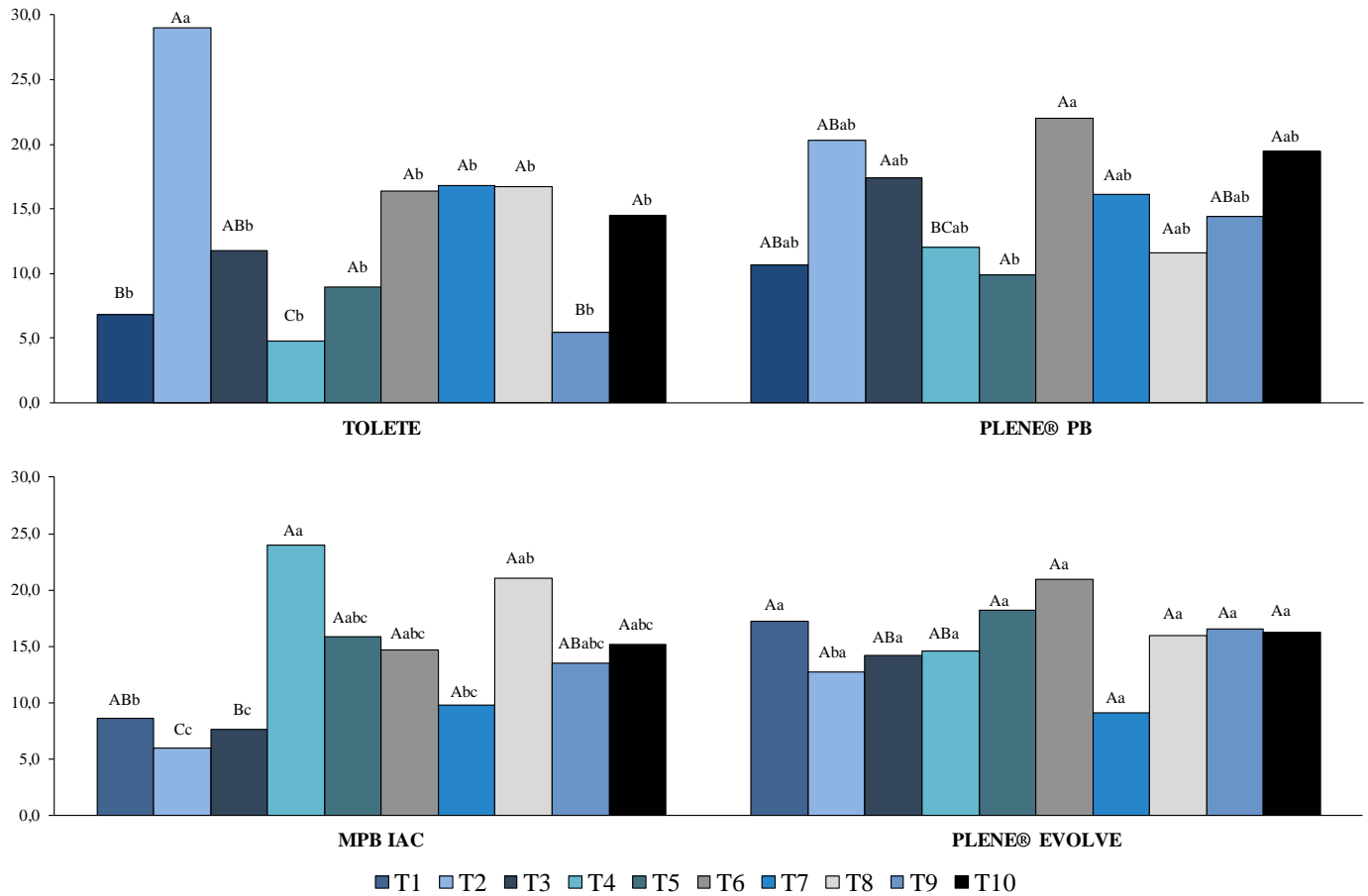


Figura 4. Massa seca (g) da cv. IACSP95-5000 de cana-de-açúcar aos 120 DAA. Letras maiúsculas diferenciam tecnologias de plantio e letras minúsculas, herbicidas. $CV_{120DAA} = 30,59\%$.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a cana-de-açúcar 'IACSP95-500' apresentou tolerância ao imazapir em seu desenvolvimento inicial, até 90 dias após o plantio (120 DAA), em todas as tecnologias de plantio testadas (tolete, MPB IAC, Plene® PB e Plene® Evolve), com aplicação realizada 30 dias antes do plantio.

Os tratamentos diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico, s-metolacloro e amicarbazona apresentaram sintomas nulos ou insignificantes aos 90 DAA em praticamente todas as tecnologias, sendo considerados altamente tolerantes para a cultivar nessas condições. Em contraste, a mistura pendimetalina + trifluralina foi o tratamento que causou os maiores danos e reduções de crescimento em quase todos os sistemas.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos agradecimentos à Syngenta e ao Centro Avançado de Pesquisa em

Cana-de-Açúcar do IAC, cujas contribuições foram fundamentais para a execução deste trabalho, seja por meio do fornecimento das mudas ou pelo suporte técnico e operacional durante as etapas de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azania, C.A.M. & Azania, A.A.deP.M. (2014). Seletividade de herbicidas. In: Monqueiro, P.A. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. São Carlos: Rima, p.217-234.
- Azania, C.A.M.; Azania, A. A. de P. M.; Vitorino, R.; Borges, I. S. & Silva, T. P. (2014). MPB no canavial. **Cultivar**, p.185, 40-41.
- Barbosa, J.C. & Maldonado Júnior, W. (2015). **Experimentação agrônômica e AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. 2º Ed. Jaboticabal: Multipress.
- Beluci, L.R.; Vitorino, R.; Azania, A. de P.A.M.; Azania, C.A.M. & Tortorelli, H.F. (2015). Utilização

do perfil isoenzimático como ferramenta na avaliação da seletividade de herbicidas em cana-de-açúcar. **Nucleus**, 12(2): 157-166. <http://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.1436>

Bertolino, C.B. & Alves, P.L.C.A. (2014). Seletividade de herbicidas para cana-de-açúcar no sistema Plene® em pré e pós-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 13(3):197-206. <https://doi.org/10.7824/rbh.v13i3.249>

Chen, J., Yu, Q., Patterson, E., Sayer, C. & Powles, S. (2021). Dinitroaniline herbicide resistance and mechanisms in weeds. **Frontiers in Plant Science**, 12: 634018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634018>

Dias, J.L.C.S.; Silva Junior, A.C.S.; Queiroz, J.R.G. & Martins, D. (2017). Herbicides selectivity in pre-budded seedlings of sugarcane. **Arquivos do Instituto Biológico**, 84: e0112015. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000112015>

EWRC - European Weed Research Council (1964). Report of 3rd and 4rd meetings of EWRC. Cittee of methods in weed research. **Weed Research**, 4(1): 88.

Ferreira, E.A.; Santos, J.B.; Silva, A.A.; Ventrella, M.C.; Barbosa, M.H.P. & Procópio, S.O. (2005). Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametrina. **Planta Daninha**, 23(1): p.93-99. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000100012>

Garcia, M.D.; Nouwens, A.; Lonhienne, T.G. & Guddat, L.W. (2017). Comprehensive understanding of acetohydroxyacid synthase inhibition by different herbicide families. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 114(7): E1091–E1100. <https://doi.org/10.1073/pnas.1616142114>

Gascho, G.J. & Shih, S.F. (1983). Sugarcane. In: Teare, I.D. & Peet, M.M. (Eds.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, p. 445-479.

Giraldeli, A.L.; Silva, A.F.M.; Brito, F.C.de; Araújo, L.S.da; Pagenotto, A.C.V.; de Moraes, J.P. & Victoria Filho, R. (2018). Crescimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em duas modalidades de aplicação de herbicidas. **Revista**

Brasileira de Herbicidas, 17(3): 1-12. <https://doi.org/10.7824/rbh.v17i3.588>

Griesang, F, & Ferreira, M. da C. (2021). Tecnologia de aplicação para herbicidas. In: Barroso, A.A.M. & Murata, A.T. (Eds.). **Matologia: Estudos sobre Plantas Daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. p. 428-449.

Landell, M.G.A.; Campana, M.P.; Figueiredo, P.; Vasconcelos, A.C.M.; XAVIER, M. A.; Bidoia, M.A.P.; Prado, H.; Silva, M.A.; Miranda, L.L.D. & Santos, A.S. (2007). **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 16a liberação do programa cana IAC (1959-2007)**. Vol. 197. Boletim técnico IAC. 37p.

Landell, M.G. de A.; Campana, M.P.; Figueiredo, P.; Xavier, M.A.; Anjos, I.A.dos; Dinardo-Miranda, L.L.; Scarpari, M.S.; Garcia, J.C.; Bidóia, M.A.P.; Silva, D.N. da; Mendonça, J.R.de; Kanthack, R.A.D.; Campos, M.F.de; Brancalião, S.R.; Petri, R.H. & Miguel, P.E.M. (2012). **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Vol. 109. Campinas: IAC. 17p.

Marafon, A.C. (2012). **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Vol. 168. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 29p.

May, A. & Ramos, N.P. (2019). **Uso de gemas individualizadas de cana-de-açúcar para a produção de mudas**. Vol. 19. Jaguariúna: Embrapa, 2019.

Monquero, P.A. & Silva, P.D. (2021). Comportamento de herbicidas no ambiente. In: Barroso, A.A.M.; Murata, A.T. (eds.). **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra. p.253-294.

Peterson, D.E.; Thompson, C.R.; Shoup, D.E. & Jugulam, M. (2015). **Herbicide mode of action**. 1º Ed. Cooperative Extension Service Kansas State: University Manhattan. 28p.

Pimentel, G.V.; Costa, W.M.N.; de Souza, W.J.G.; Martins, I.A. & Moreira, S.G. (2021). Seletividade do herbicida tembotrione em genótipos de cana-de-

- açúcar no sistema de mudas pré-brotadas. **Agrarian**, 14(52): 166-175. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i52.11344>
- Prakash, N.R.; Chaudhary, J.R.; Tripathi, A.; Joshi, N.; Padhan, B.K.; Yadav, S. & Kumar, R. (2020). Breeding for herbicide tolerance in crops: A review. **Research Journal of Biotechnology**, 15(4): 154-162.
- Reis, F.C.; Victória Filho, R.; Andrade, M.T. & Barroso, A.A.M. (2019). Use of Herbicides in Sugarcane in the São Paulo State. **Planta Daninha**, 3(1): 1-9. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100064>
- Rodrigues, B.N. & Almeida, F.S. (2018). **Guia de herbicidas**. 7. Ed. Londrina:Produção Independente, 764p.
- Rolim, J.C. (1989). **Proposta de utilização da escala EWRC modificada em ensaios de campo com herbicidas**. Araras: IAA/PLANALSUCAR. Coordenadoria Regional Sul. 3 p.
- Syngenta. (2014). **New PLENE for commercial planting of sugar cane in Brazil**. Syngenta, Basel, Switzerland. Disponível em: <https://www.syngenta.com/en/company/media/syngenta-news/year/2014/new-plener-commercial-planting-sugar-cane-brazil>.
- Vidal, R.A.; Fleck, N.G. (2001). Inibidores de crescimento da parte aérea. In: Vidal, R.A.; Merotto JR., A. (Org.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf. p.123-130.
- Xavier, M.A.; Landell, M.G.A.; Campana, M.P.; Figueiredo, P.; Mendonça, J.R., Dinardo-Miranda, L.L.; Scarpari, M.S.; Garcia, J.C.; Anjos, I.A.; Azania, C.A.M.; Brancalião, S.R.; Kanthack, R.A.D.; Aferri, G.; Silva, D.N.; Bidóia, M.A.P.; Campos, M. F.; Ferruco, D.; Matsuo, R.S.; Neves, J.C.T.; Cassaneli Junior, J.R.; Perruco, L.; Petri, R. H.; Silva, T.N. & Silva, V.H.P.; Thomazinho junior, J.R.; Miguel, P.E.M.; Lorezanto, C. M. (2014a). **Fatores de desuniformidade e kit de pré-brotação IAC para sistema de multiplicação de cana-de-açúcar-mudas pré-brotadas (MPB)**. Vol. 113. Campinas: Instituto Agrônomo. 22p.
- Xavier, M.A.; Landell, M.G.A.; Teixeira, L.G.; Rodrigues, P.A.; Nassif, G.L.; Oliveira Junior, A.C. & Mine, K. (2014b). Sistema de multiplicação MPB e integração com o setor sucroenergético. **O Agrônomo**, 64-66(1): 32-41.
- Zera, F.S.; Azania, C.A.M.; Schiavetto, A.R.; Lorenzato, C.M. & Azania, A.A.P.M. (2011). Tolerância de diferentes cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) a herbicidas. **Planta daninha**, 29: 591-599. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000300013>.