

Artigo

Parâmetros Tecnológicos e Avaliação de Enzimas Antioxidantes da Cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) quando Aplicados Maturadores Químicos

Moreira, B. R. A.;* Viana, R. S.; Manarelli, F.; Viana, C. R. A.; Nakamune, A. C. M. S.

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (5), 1225-1247. Data de publicação na Web: 24 de setembro de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

Technological Parameters and Evaluation of Antioxidant Enzymes from Sugarcane (*Saccharum spp.*) when Applied Chemical Ripeners

Abstract: The aim of this study was to evaluate juice technological traits and antioxidant enzymes specific activities from sugarcane cultivars following chemical ripeners spraying. The field experiment had a randomized block design (with six replicates) in factorial arrangement (9x2): active ingredients (control 0.00 L ha⁻¹, ethephon 0.67 L ha⁻¹, glyphosate 0.35 L ha⁻¹, MTD 1.00 L ha⁻¹, trinexapac-ethyl 0.80 L ha⁻¹, sulfometuron-methyl 0.02 kg ha⁻¹, ethephon 0.34 L ha⁻¹ plus glyphosate 0.15 L ha⁻¹, MTD 1.00 L ha⁻¹ plus glyphosate 0.15 L ha⁻¹, and sulfometuron-methyl 0,02 kg ha⁻¹ plus glyphosate 0.15 L ha⁻¹), and sugarcane cultivars (RB86-5156 and RB86-5453), respectively. Subsequent to crop harvest (carried out 60-days after chemical ripeners spraying) stalks and leaf samples were assessed to °Brix, Pol, purity, theoretical sugars recoverable (TSR), fibers, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX), and peroxidase (POD) specific activities. There was null hypothesis rejection at interactive level between causes of variation for CAT and POD; while SOD, PAX, and all juice traits were affected only at simple effects level. It was concluded that chemical ripeners management enhanced juice quality and antioxidant enzymatic system reactivity of sugarcane crop.

Keywords: Ethephon; glyphosate; ROS; phytochemicals.

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar parâmetros tecnológicos de caldo e atividades específicas de enzimas antioxidantes de cultivares de cana-de-açúcar tratados com maturadores químicos. Aplicou-se o delineamento de blocos casualizados, com seis repetições, em esquema fatorial 9x2: ingredientes ativos (controle 0,00 L ha⁻¹, etefon 0,67 L ha⁻¹, glifosato 0,35 L ha⁻¹, MTD 1,00 L ha⁻¹, etil-trinexapac 0,80 L ha⁻¹, sulfometuron-metil 0,02 kg ha⁻¹, etefon 0,34 L ha⁻¹ + glifosato 0,15 L ha⁻¹, MTD 1,00 L ha⁻¹ + glifosato 0,15 L ha⁻¹ e sulfometuron-metil 0,02 kg ha⁻¹ + glifosato 0,15 L ha⁻¹) e cultivares (RB85-5156 e RB85-5453), correspondentemente. Posteriormente à operação de colheita, realizada sessenta dias após a aplicação de maturadores, destinaram-se colmos e folhas ao laboratório, para determinação dos parâmetros tecnológicos de caldo, °Brix, Pol, Pureza, ATR e Fibras, e análise de atividades específicas das enzimas antioxidantes, superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e peroxidase (POD), respectivamente. Houve rejeição de hipótese de nulidade, ao nível de interação entre as causas de variação, para CAT e POD; SOD, APX e todos os atributos de caldo foram influenciados, apenas, ao nível de efeitos isolados. Portanto, concluiu-se que plantas submetidas à aplicação de maturadores químicos exibiram qualidades de caldo superiores e sistemas antioxidantes enzimáticos mais reativos a radicais livres.

Palavras-chave: Etefon; glifosato; ROS; fitorreguladores.

* Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, FCAT/Unesp, Campus de Dracena, CEP 17900-000, Dracena-SP, Brasil.

✉ bruno_rafael.m05@hotmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20180085](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180085)

Parâmetros Tecnológicos e Avaliação de Enzimas Antioxidantes da Cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) quando Aplicados Maturadores Químicos

Bruno R. A. Moreira,^{a,*} Ronaldo S. Viana,^a Fabiana Manarelli,^b Charlene R. A. Viana,^b Ana Claudia M. S. Nakamune^c

^a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Campus de Dracena, CEP 17900-000, Dracena-SP, Brasil.

^b Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, CEP 16052-045, Araçatuba-SP, Brasil.

^c Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Odontologia, Campus de Araçatuba, CEP 16052-045, Araçatuba-SP, Brasil.

* bruno_rafael.m05@hotmail.com

Recebido em 02 de fevereiro de 2018. Aceito para publicação em 14 de setembro de 2018

1. Introdução

2. Material e Métodos

2.1. Local

2.2. Delineamento

2.3. Preparo de solo e semeadura

2.4. Aplicação de maturadores químicos

2.5. Colheita e avaliações técnicas

2.6. Análise estatística

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise de variância

3.2. Atividades específicas de enzimas antioxidantes

3.3. Catalase (CAT)

3.4. Peroxidase (POD)

3.5. Superóxido dismutase (SOD)

3.6. Ascorbato peroxidase (APX)

3.7. Parâmetros tecnológicos de caldo

3.8. Sólidos solúveis totais (°Brix)

3.9. Sacarose (Pol)

3.10. Pureza (Pza)

3.11. Açúcares teóricos recuperáveis (ATR)

3.12. Fibras (Fib)

3.13. Correlação linear

4. Conclusões

1. Introdução

Originária do continente Asiático, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma espécie vegetal C₄ que se caracteriza pela ampla adaptabilidade, rusticidade genética à incidência de pragas entomológicas e fitopatógenos, elevada capacidade fotossintética, aptidão à mecanização agrícola e múltiplas finalidades econômicas. Complementarmente, a adequada concentração de açúcares fermentescíveis desta matéria-prima a qualifica à industrialização de biocombustíveis alternativos ao petróleo, gás natural e carvão mineral, recursos energéticos exauríveis.¹⁻⁴

O potencial produtivo desta cultura energética é, substancialmente, influenciado por restrição hídrica, poluição atmosférica, baixa fertilidade edáfica, salinidade, temperaturas extremas, radiação solar, ataque de pragas, dentre outros fatores, bióticos e abióticos, promotores de estímulos a espécies reativas de oxigênio, como peróxido de hidrogênio (H₂O₂), ânion superóxido (O₂⁻), radical hidroxila (OH⁻) e oxigênio singleto (¹O₂), danosas à fisiologia vegetal.⁵⁻⁷

Em condições estressantes, radicais livres causam inúmeros efeitos colaterais às células vegetais, destacando-se: inativação de rotas bioquímicas, decomposição de ácidos nucleicos, desarranjo estrutural e termoinstabilidade de parede e membrana celulares, despigmentação de moléculas fotossintetizantes, peroxidação de lipídeos, desequilíbrio osmorregulatório, desbalanço hormonal, citotoxicidade e degradação de peroxissomos, organelas responsáveis pela detoxificação de compostos nocivos às

plantas, que se protegem, ativando rotas de eliminação de espécies reativas de oxigênio.⁸⁻¹⁰

Ao longo da escala evolutiva, espécies vegetais desenvolveram sistemas antioxidante não enzimático integrado por ácidos orgânicos, flavonoides, aldeídos, alcaloides, vitamina E, fenóis, α-tocoferol, etc., e enzimático, composto por superóxido dismutase (SOD), aspartato peroxidase (APX), catalase (CAT), glutathione redutase (GTR), glutathione S-transferase (GTS), peroxidase (POD), dentre outras proteínas funcionais, que lhes permitem reagir positivamente aos ataques de radicais livres, combatendo-os supressivamente.¹¹⁻¹³

Apesar dos avanços naturais, há possibilidades de intensificar a efetividade de sistema imunológico inato de plantas, aplicando-se soluções formuladas à base de ácido ascórbico, ácido indol-acético, sorbitol, manitol, polietilenglicol e ingredientes ativos com propriedades herbicidas. Todavia, há escassez de informações sobre reatividade de enzimas antioxidantes de cana-de-açúcar à aplicação exógena de maturadores químicos, produtos que exercem funções análogas às desempenhadas pelos hormônios vegetais endógenos, auxinas, giberilinas, citocininas e etileno.¹⁴⁻¹⁹

Em cana-de-açúcar, são usuais as aplicações dos ingredientes ativos, glifosato, sulfometuron-metil, etil-trinexapac e etefon (Figura 1), que, embora agreguem qualidades industrialmente requeridas à matéria-prima, são potencialmente capazes de depreciá-la, caso sejam manejados, inapropriadamente, devido à possibilidade de indução de estresses oxidativos a variedades comerciais, resultando em lavouras improdutivas.²⁰⁻²²

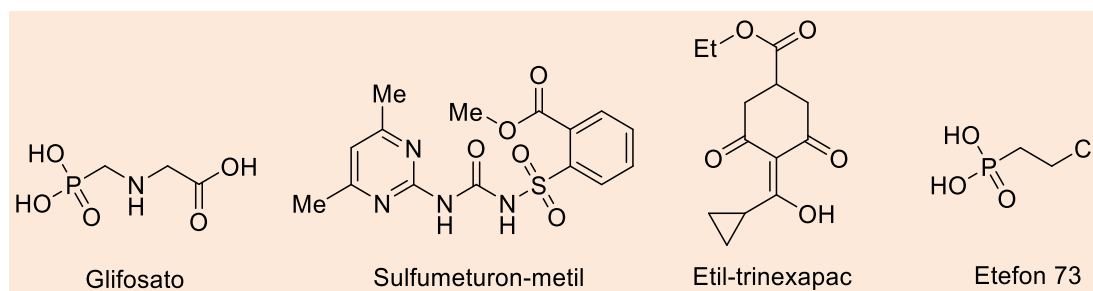


Figura 1. Ingredientes ativos comumente usados em cana-de-açúcar

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar parâmetros tecnológicos de caldo e atividade específicas de enzimas antioxidantes de cultivares de cana-de-açúcar tratados com maturadores químicos.

umidade relativa do ar e pluviometria equivalentes a 21,6 °C, 70 % e 1.344 mm, respectivamente.

2.2. Delineamento

2. Material e Métodos

2.1. Local

Instalou-se e conduziu-se a experimentação de campo na fazenda “Santo Antônio”, localizada em Barra Bonita-SP, Brasil. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico férrico. Complementarmente, segundo Köppen, o clima regional é caracterizado pela ocorrência de inverno seco e médias de temperatura,

Aplicou-se o delineamento de blocos casualizados, com seis repetições, em esquema fatorial 9x2: (controle 0,00 L ha⁻¹, etefon 0,67 L ha⁻¹, glifosato 0,35 L ha⁻¹, MTD 1,00 L ha⁻¹, etil-trinexapac 0,80 L ha⁻¹, sulfometuron-metil 0,02 kg ha⁻¹, etefon 0,34 L ha⁻¹ + glifosato 0,15 L ha⁻¹, MTD 1,00 L ha⁻¹ + glifosato 0,15 L ha⁻¹ e sulfometuron-metil 0,02 kg ha⁻¹ + glifosato 0,15 L ha⁻¹) e cultivares de cana-de-açúcar (RB85-5156 e RB85-5453); características dos produtos são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição qualitativa dos ingredientes ativos aplicados como maturadores químicos

Ingredientes ativos	Nome comercial/popular	Classe
Etefon	Ethrel®	Regulador de crescimento vegetal
Etil-trinexapac	Moddus®	Regulador de crescimento vegetal
Glifosato	Roundup Transorb®	Herbicida sistêmico
Radicais carboxílicos	MTD	Inseticida/Acaricida
Sulfometuron-metil	Curavial®	Regulador de crescimento vegetal

2.3. Preparo de solo e semeadura

Por ocasião do preparo de solo, corrigiram-se acidez e fertilidade, aplicando-se 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico e 600 kg ha⁻¹ de formulação NPK (10-25-25), respectivamente. Após 60 dias, efetuou-se o plantio, distribuindo-se quinze gemas em sete sulcos (10,0 m comprimento), espaçados a 1,4 m. O manejo de pragas foi realizado, aplicando-se 1,20 L ha⁻¹ de bifentrina.⁴

2.4. Aplicação de maturadores químicos

Aplicaram-se os produtos anteriormente ao período de florescimento de lavoura, utilizando-se pulverizador costal (CO₂ pressurizado) equipado com seis bicos AXI 110 02, jato plano; calibraram-se pressão e volume de calda para 40 lb pol² e 300,00 L ha⁻¹, respectivamente.⁴ Executaram-se as operações durante o período matutino, em condições de temperatura (27,5 ± 2,5 °C) e umidade relativa do ar (70 ± 10 %) adequadas, sem ocorrência de precipitações subsequentes.

2.5. Colheita e avaliações técnicas

Transcorridos 30 dias da aplicação de maturadores, colheram-se as parcelas, considerando-se plantas de fileiras centrais. Subsequentemente ao desponte, realizado à altura de gema apical, destinaram-se colmos e amostras foliares ao laboratório, para determinação dos parâmetros tecnológicos de caldo, °Brix, Pol, Pureza (Pza), açúcares teóricos recuperáveis (ATR) e Fibras (Fib), realizada a partir de amostras extraídas de feixes de colmos submetidos à prensagem hidráulica (24,5 MPa), conforme metodologias descritas no manual do Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA); e avaliação de atividades específicas das enzimas antioxidantes, superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT),

ascorbato peroxidase (APX) e peroxidase (POD), adaptando-se metodologias sugeridas pelos pesquisadores.^{3,4,23-25,74} Prepararam-se amostras de 200 g de material vegetal, macerando-se folhas em 10 mL de tampão fosfato de potássio (0,1 M), pH 6,8, contendo ácido etilenodiamino tetra-acético – EDTA (0,1 mM). Subsequentemente à filtragem, centrifugaram-se amostras a 12000 rpm, por 15 min. Conduziram-se todas as etapas necessárias à obtenção de sobrenadante enzimático bruto a 4 °C, sendo as atividades lidas por espectrofotometria a 25 °C. Em relação à CAT, utilizou-se meio de reação a pH 7,5, contendo: 25 µL de extrato vegetal, 1 mL de tampão fosfato de potássio (100 mM) e 2,5 µL de solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 30 %; procedeu-se a leitura de decomposição de H₂O₂ por 1 min, observando-se alterações em absorvância a 240 nanômetros (nm). Quanto à APX, empregou-se meio de reação a pH 7,0, contendo: 50 µL de extrato vegetal, 650 µL de tampão fosfato de potássio (80 mM), 100 µL de ascorbato (5 mM), 100 µL EDTA (1 mM) e 100 µL de H₂O₂ 1 (mM); neste caso, acompanhou-se a decomposição de H₂O₂ por 1 min, verificando-se alterações em absorvância a 290 nm. Complementarmente, quantificou-se a atividade de POD, diluindo-se 100 µL de sobrenadante em 4,9 mL de solução a pH 6,8, contendo: tampão fosfato de potássio (25 mM) e H₂O₂ (20 mM); concluída a etapa de incubação, observou-se a decomposição de H₂O₂ por 1 min, em comprimento de onda equivalente a 420 nm. Finalmente, determinou-se a atividade de SOD por fotorredução de cloreto de nitroazul de tetrazólio – NBT. Para tanto, verteu-se 50 µL de sobrenadante em meio de reação a pH 7,8, contendo: tampão fosfato de sódio (50 mM), metionina (13 mM), NBT (72 mM) e EDTA (100 µM). A reação ocorreu em câmara sob iluminação artificial (15 W), cobrindo-se a lâmpada com papel alumínio. Mensurou-se o produto da fotodegradação de NBT, ou seja, azul de formazano, pelo aumento da absorvância a 560 nm. Definiu-se uma unidade SOD como a quantidade de enzima necessária para inibir 50 % da fotorredução de NBT.

2.6. Análise estatística

Ao conjunto de dados, aplicaram-se os testes inferenciais, normalidade (Shapiro-Wilk), variância (Fisher), comparações múltiplas (Tukey) e correlação linear (Pearson), ao nível de 5 % de probabilidade estatística, utilizando-se o Software R (Versão 3.3.1.).

Em relação às atividades específicas de enzimas antioxidantes, houve rejeição de hipótese de nulidade, ao nível de interação entre as causas de variação, para CAT e POD; quanto às demais enzimas, SOD e APX, estas foram influenciadas, somente, pelos maturadores químicos (Tabela 2).

Quanto aos parâmetros tecnológicos de caldo, não houve significância, ao nível de interação entre as causas de variação, para °Brix, Pol, ATR e Fibra, influenciados pelos maturadores químicos, na maioria dos casos, com exceção das Fibras, influído por ambos os fatores (Tabela 3).

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise de variância

Tabela 2. Quadro da ANOVA dos efeitos, interativos e isolados, de maturadores químicos e cultivares nas atividades específicas de enzimas antioxidantes de cana-de-açúcar

Causas de variação	Enzimas antioxidantes ¹			
	SOD	CAT	APX	POD
Teste Fisher Maturadores	2,19 ^{ns}	7,92*	2,92*	21,26*
Teste Fisher Cultivares	2,15 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Teste Fisher Maturadores x Cultivares	1,14 ^{ns}	2,73*	1,82 ^{ns}	7,62*
P-valor Shapiro-Wilk	0,41*	0,32*	0,32*	0,23*
Coefficiente de variação (%)	37,67	29,43	48,48	22,06

¹Superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e peroxidase (POD); *Significativo ($P < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($P \geq 0,05$).

Tabela 3. Quadro da ANOVA dos efeitos, interativos e isolados, de maturadores químicos e cultivares nos parâmetros tecnológicos de caldo de cana-de-açúcar

Causas de variação	Parâmetros tecnológicos ¹				
	°Brix	Pol	Pureza	ATR	Fibras
Teste Fisher Maturadores	6,68*	5,94*	4,62*	5,96*	8,94*
Teste Fisher Cultivares	0,31 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,69 ^{ns}	4,74*
Teste Fisher Maturadores x Cultivares	0,46 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,81 ^{ns}
P-valor Shapiro-Wilk	0,11*	0,15*	0,40*	0,20*	0,28*
Coefficiente de variação (%)	3,28	4,85	1,84	4,37	2,16

¹Açúcares teóricos recuperáveis (ATR); *Significativo ($P < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($P \geq 0,05$).

3.2. Atividades específicas de enzimas antioxidantes

Os efeitos interativos de maturadores químicos e cultivares nas atividades específicas de CAT e POD são apresentados nas Tabelas 4 e 5 respectivamente.

Tabela 4. Desdobramento da ANOVA dos efeitos interativos de maturadores químicos e cultivares de cana-de-açúcar na atividade específica de catalase (CAT)

Maturadores químicos	Cultivares		Médias	Teste Fisher
	RB85-5156	RB85-5453		
	CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ Prot}$)			
Controle	0,25 ^{ba}	0,24 ^{abA}	0,24	0,02 ^{ns}
Etefon (E)	0,41 ^{abA}	0,39 ^{abA}	0,40	0,03 ^{ns}
(E) + Glifosato	0,64 ^{aA}	0,40 ^{ab}	0,52	11,36*
Sm + G	0,25 ^{ba}	0,32 ^{abA}	0,29	0,94 ^{ns}
Sulfometuron-metil (Sm)	0,22 ^{ba}	0,15 ^{ba}	0,19	0,85 ^{ns}
Glifosato (G)	0,21 ^{ba}	0,29 ^{abA}	0,25	0,99 ^{ns}
MTD	0,21 ^{ba}	0,28 ^{abA}	0,25	0,94 ^{ns}
MTD + G	0,21 ^{bb}	0,39 ^{abA}	0,30	6,22*
Etil-trinexapac	0,24 ^{ba}	0,30 ^{abA}	0,27	0,77 ^{ns}
Médias	0,29	0,31		
Teste Fisher	8,09*	2,54*		

Médias seguidas por letras maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); *Significativo ($P < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($P \geq 0,05$).

Convencionalmente, CAT, SOD, APX e POD são indispensáveis à efetividade de combate a radicais livres de sistema antioxidante enzimático de espécies vegetais, pois agem como sinalizadores bioquímicos à síntese de mecanismos protetores contra agentes estressores, bióticos e abióticos. Portanto, avaliar a reatividade destas enzimas à ação de

maturadores químicos é fundamental, pois há ingredientes ativos, como glifosato, sulfometuron-metil e etefon, comumente aplicados em cana-de-açúcar, aptos à indução de estresses oxidativos estimulantes, ou não, às atividades específicas de proteínas funcionais envolvidas em rotas de eliminação de espécies reativas de oxigênio.^{21,26-28}

Tabela 5. Desdobramento da análise de variância de efeitos interativos de maturadores químicos e cultivares de cana-de-açúcar na atividade específica de peroxidase (POD)

Maturadores químicos	Cultivares		Médias	Teste Fisher
	RB85-5156	RB85-5453		
POD ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ Prot}$)				
Controle	0,60 ^{cdA}	0,97 ^{aB}	0,75	5,97*
Etefon (E)	1,63 ^{aA}	1,15 ^{aB}	1,39	10,09*
(E) + Glifosato	0,59 ^{cdA}	0,37 ^{bA}	0,48	2,28 ^{ns}
Sm + G	0,29 ^{dB}	0,94 ^{aA}	0,62	18,76*
Sulfometuron-metil (Sm)	0,27 ^{dA}	0,34 ^{bA}	0,30	0,22 ^{ns}
Glifosato (G)	0,90 ^{cA}	0,76 ^{abA}	0,83	0,82 ^{ns}
MTD	1,55 ^{abA}	0,95 ^{aB}	1,25	15,81*
MTD + G	0,75 ^{cdB}	1,05 ^{aA}	0,90	3,82*
Etil-trinexapac	1,08 ^{bcA}	0,79 ^{abB}	0,94	3,82*
Médias	0,85	0,81		
Teste Fisher	21,53*	7,32*		

Médias seguidas por letras maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Códigos de significância: * ($P < 0,05$) e ^{ns} ($P \geq 0,05$)

Os efeitos isolados de maturadores químicos e cultivares nas atividades específicas de SOD e APX são apresentados na Figura 2.

Em síntese, acredita-se que o esclarecimento de incertezas relativas ao potencial de contribuição de fitorreguladores ao sistema antioxidante enzimático de cana-

de-açúcar possa fornecer informações pontuais ao desenvolvimento de estratégias que possibilitem o estabelecimento de canaviais em áreas marginais, permitindo à cultura suportar melhor pressões ambientais, como baixa fertilidade e salinização edáficas, poluição atmosférica, geadas, déficit hídrico e incidência de pragas econômicas, mantendo satisfatório rendimento produtivo.²⁹⁻³¹

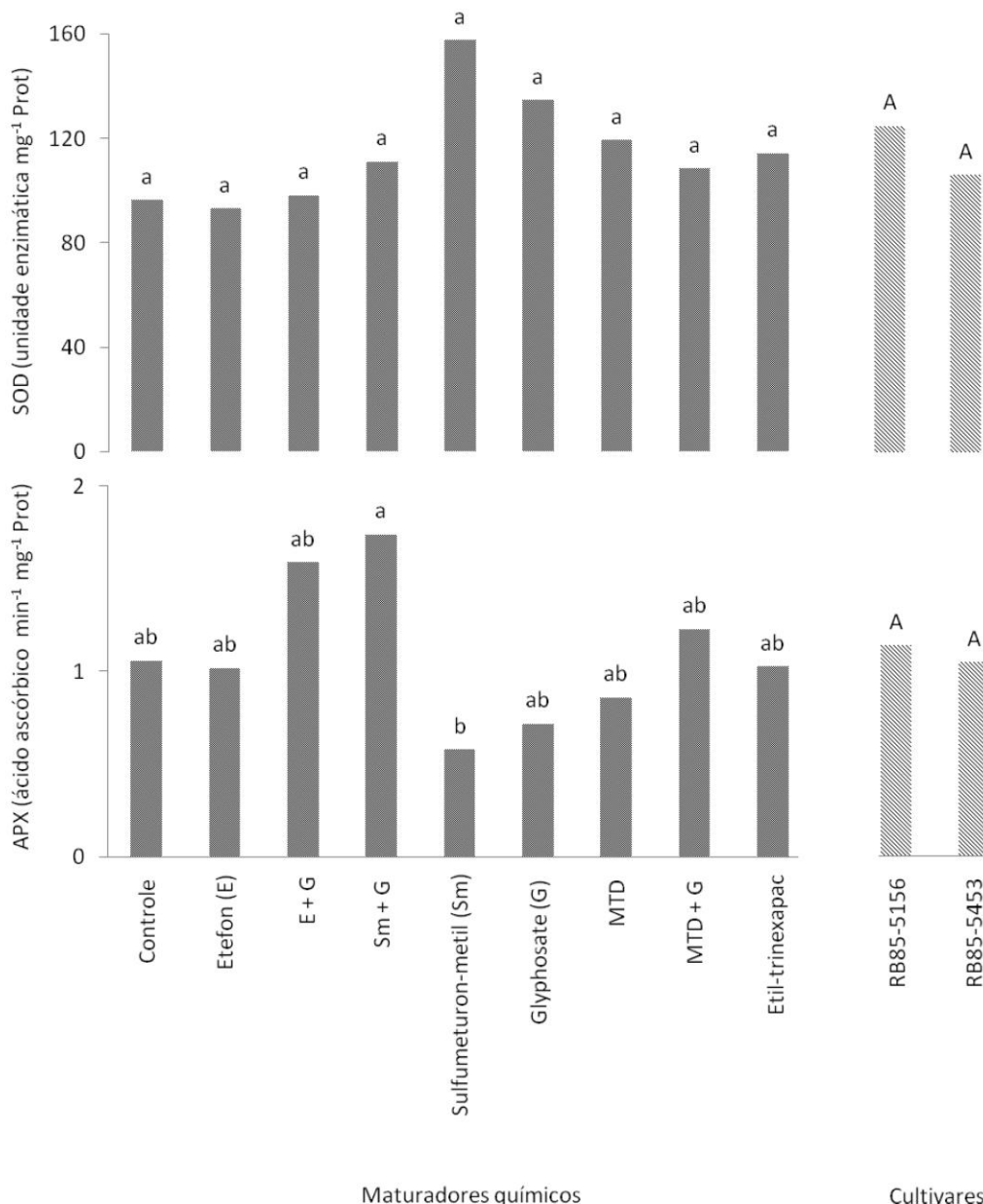


Figura 2. Efeitos isolados de maturadores químicos e cultivares nas atividades específicas de superóxido dismutase (SOD) e aspartato peroxidase (APX); médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas comparam cultivares e maturadores químicos, respectivamente, pelo teste de Tukey (P<0,05)

3.3. Catalase (CAT)

Plantas de RB85-5156, tratadas com etefon e etefon + glifosato, apresentaram as maiores atividades específicas de CAT. Este resultado é interessante, pois a enzima em questão é crucial à detoxificação de H₂O₂, contribuindo à adaptação de culturas agrícolas a ambientes estressantes.³² Embora a mistura de

ingredientes ativos proporcionasse 56,00 % a mais de reatividade à CAT, comparada ao regulador de crescimento vegetal aplicado, isoladamente, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Controversamente, sulfometuron-metil + glifosato, sulfometuron-metil, glifosato, MTD, MTD + glifosato e etil-trinexapac induziram atividades específicas de CAT,

estatisticamente, indistintas e inferiores, contrastados ao controle, sugerindo que dosagens inapropriadas de produtos sintéticos podem levar à redução de atividade ou, até mesmo, inativação de CAT, enzima antioxidante muito sensível ao estresse induzido, quimicamente, em cana-de-açúcar.³³ Em relação ao cultivar, RB85-5453, notaram-se desempenhos, relativamente, similares aos observados para RB85-5156: etefon + glifosato, MTD + glifosato e etefon proporcionaram maiores atividades específicas à CAT; todavia, estes tratamentos não diferiram, significativamente, comparados ao controle, sulfometuron-metil + glifosato, glifosato, MTD e etil-trinexapac. O regulador de crescimento vegetal, sulfometuron-metil, correspondeu ao único ingrediente ativo capaz de surtir efeito adverso à atividade específica de CAT, a limitando em aproximadamente, 60,00 %, comparado ao controle. Em contrapartida, a mistura, etefon + glifosato, aplicada em RB85-5156 e RB85-5453, incrementou a atividade específica de CAT em, aproximadamente, 156,00 e 67,00 %, respectivamente, em relação ao controle. Na ausência de ingredientes ativos, os cultivares exibiram atividades enzimáticas, estatisticamente, indiferentes, com ligeira superioridade a favor de RB85-5156. Complementarmente, ao nível de etefon + glifosato, RB85-5156 exibiu atividade específica de CAT cerca de 60,00 % superior, em relação à RB85-5453. A exemplo deste estudo, pesquisadores constataram significância entre as atividades específicas de CAT das variedades, IACSP 95-5000 e IACSP 94-1094, reiterando a relevância do código genético à expressão de perfil enzimático de cana-de-açúcar.³ Finalmente, ao nível de interação entre as causas de variação, constatou-se que a aplicação de etefon + glifosato em RB85-5156 induziu atividade específica de CAT quatro vezes superior, em relação à RB85-5453 tratada com sulfometuron-metil. Portanto, com base nesta premissa, seria preferível optar pela aplicação da mistura, etefon + glifosato, em RB85-5156, considerando o alto desempenho desta associação, atribuído ao possível efeito

hermético de glifosato, causado pela redução de dose, aliado à decomposição de etefon, que resulta em liberação de etileno e ácido fosfórico, subprodutos tributários à acidificação de células vegetais, estimulando a ação de enzimas precursoras de síntese de espécies reativas de oxigênio incitantes à CAT.²¹⁻³⁴⁻³⁷ Bioquimicamente, glifosato inibe a enzima, 5-enol pirivul chiquimitato, 3-fosfato sintase (EPSPs), crucial à rota metabólica do ácido chiquímico, precursor de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, triptofano e tirosina), auxinas, ácido salicílico e flavonoides, elementos que exercem papéis fundamentais em mecanismos de eliminação de radicais livres.^{27,38-41} Complementarmente, a inativação de EPSPs causa peroxidação de lipídeos e degradação de fitoalexinas, estimulando o sistema imunológico vegetal à produção de enzimas antioxidantes, em resposta ao desencadeamento de reações oxidativas danosas às organelas celulares, principalmente, núcleo, mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos, responsáveis pela destoxificação de radicais livres.^{42,43} Em experimentação sobre estresse oxidativo induzido por glifosato em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), pesquisadores verificaram incremento de atividade específica de CAT, em decorrência de intensificação de fluxo de elétrons e, concomitantemente, geração de H₂O₂ a partir de redução de O₂⁻ por tioredoxina tipo-H e nucleosídeo difosfato quinase (NDPK1), enzimas indispensáveis à cadeia primária de eliminação de radicais livres.³⁹ Além de glifosato, há outras moléculas, como paraquat, fluroxypyr, 2,4-D, atrazina e diuron, herbicida pré-emergente, amplamente, aplicado em lavouras canavieiras, indutoras de estresses oxidativos em espécies vegetais, estimulando-as à produção de enzimas antioxidantes.⁴⁴⁻⁴⁶

3.4. Peroxidase (POD)

Etefon e MTD, aplicados em RB85-5156, incrementaram a atividade específica de POD em, aproximadamente, 165,00 %, comparados ao controle; não houve diferença

significativa entre os ingredientes ativos. Similarmente, etil-trinexapac, glifosato e MTD + glifosato elevaram a atividade específica desta enzima em, exatamente, 80,00; 50,00 e 25,00 %, respectivamente, em relação ao controle; estes tratamentos também não diferiram, estatisticamente. Em contrapartida, sulfometuron-metil + glifosato e sulfometuron-metil aplicado, isoladamente, comprometeram a atividade enzimática de POD em torno de 114,30 %, comparado ao controle, que superou, numericamente, o desempenho de etefon. Em concentrações inapropriadas, ingredientes ativos sintéticos, como moléculas herbicidas, interferem, antagonicamente, na atividade específica de POD.⁴⁴ Em relação à RB85-5453, etefon, sulfometuron-metil + glifosato, glifosato, MTD, MTD + glifosato e etil-trinexapac induziram atividades específicas de POD, estatisticamente indistintas, em relação ao controle. Como destaques negativos, etefon + glifosato e sulfometuron-metil reduziram a atividade específica de POD em, aproximadamente, 173,24 %, contrastados ao controle. Na ausência de maturadores químicos, RB85-5453 apresentou atividade específica de POD em torno de 61,67 % mais intensa, em relação à RB85-5453; quando sujeitas às misturas, sulfometuron-metil + glifosato e MTD + glifosato, RB85-5453 exibiu médias de atividade específica de POD cerca de três e uma vez e meia superiores, respectivamente, comparada à RB85-5156, favorecida por etefon + glifosato, glifosato, MTD e etil-trinexapac, proporcionando atividades específicas de POD em torno de 41,74, 59,46, 18,42, 63,16 e 36,71 % maiores, em relação à RB85-5453, respectivamente. Ao nível de interação entre as causas de variação, etefon, aplicado em RB85-5156, incrementou a atividade enzimática de POD em, aproximadamente, cinco vezes, comparado à RB85-5453 tratada com sulfometuron-metil, reiterando o antagonismo desta relação, previamente observado à CAT. A aplicação foliar de etefon em canaviais imprime maior atividade específica à POD devido à maturação induzida, quimicamente, por etileno; neste estado fisiológico, há proliferação de radicais livres, em virtude de

ativação de genes responsáveis pela transcrição de H_2O_2 , principalmente.^{34,35,47,48,49,50} Portanto, presumiu-se que este foi o motivo, pelo qual, o tratamento dos cultivares com etefon, isoladamente, resultou em maiores atividades específicas de POD.

3.5. Superóxido dismutase (SOD)

Os maturadores químicos induziram atividades específicas de SOD, estatisticamente, indiferentes. Todavia, numericamente, sulfometuron-metil, glifosato, MTD, etil-trinexapac, sulfometuron-metil + glifosato e MTD + glifosato potencializam a reatividade de SOD em, aproximadamente, 63,34, 39,59, 23,72, 18,47, 15,07 e 12,34 %, respectivamente, comparados ao controle, que apresentou desempenho praticamente parêlo em relação à mistura, etefon + glifosato. Presumiu-se que as adições de glifosato à sulfometuron-metil, e etefon e MTD à glifosato configuraram incompatibilidades físico-químicas entre os ingredientes ativos em questão, resultando em ineficiência técnica e, conseqüentemente, menor indução à SOD, cuja atividade basal é proporcional à intensidade de estresse oxidativo.^{13,51,52} Complementarmente, etefon correspondeu à única molécula sintética capaz de reduzir, insignificativamente, a atividade específica de SOD das cultivares, que não diferiram, estatisticamente, apesar de RB85-5156 exibir atividade específica de SOD em torno de 17,63 % superior, em relação à BRS5453. A SOD representa uma das enzimas antioxidante mais importantes à proteção de espécies vegetais contra radicais livres, sobretudo em regiões com predominância de estresse hídrico, fator consideravelmente limitante à produção da cultura da cana-de-açúcar.⁵²⁻⁵⁴ As variedades, IACSP 95-5000 e IACSP 94-1094, classificadas como tolerante e sensível ao déficit hídrico, respectivamente, exibiram diferença superior a 29,60 % em atividade específica de SOD, quando cultivadas em ambiente com disponibilidade de água restrita a, somente, 30,00 % da capacidade de

campo.³ Maiores níveis de SOD também foram verificados em CO 8371, CO 86032, CO 99004 e CO 99006 sujeitas à inundação.⁸ Portanto, com base nestas informações, deduziu-se que o manejo de fitorreguladores, principalmente em relação à sulfometuron-metil e glifosato, poderia contribuir, positivamente, à tolerância dos cultivares, RB86-5156 e RB86-5453, a agentes estressores, casos os mesmos fossem cultivados em ambientes inapropriados, permitindo-lhes produzir satisfatoriamente.⁵⁵

3.6. Ascorbato peroxidase (APX)

As atividades específicas de APX, apresentadas pelas cultivares de cana-de-açúcar, não se distinguiram, estatisticamente; todavia, em termos absolutos, RB85-5156 exibiu média 8,57 % superior, em relação à RB85-5453. Ao nível de maturadores químicos, sulfometuron-metil + glifosato e etefon + glifosato propiciaram as maiores atividades específicas de APX; entretanto, não diferiram, significativamente, entre si e, em relação ao controle, etefon, glifosato, MTD, MTD + glifosato e etil-trinexapac. As misturas, etefon + glifosato e sulfometuron-metil + glifosato, intensificaram a atividade específica de APX em, aproximadamente, 50,00 e 64,15 %, respectivamente, em relação ao controle. A adição de glifosato à sulfometuron-metil favoreceu a capacidade indutora do regulador de crescimento vegetal em três vezes, devido à sensibilidade de CAT a moléculas com propriedades herbicidas.^{18,56,57} Notou-se efeito similar, porém menos intenso em relação à etefon, cujo potencial oxidativo foi incrementado em, aproximadamente, 55,88

%, na presença de glifosato. A mistura de fitorreguladores promove inúmeros benefícios à cana-de-açúcar, inclusive à maquinaria fisiológica.⁴ Em geral, os pares, etefon e etil-trinexapac, etefon + glifosato e sulfometuron-metil + glifosato, e MTD e glifosato, apresentaram desempenhos parelhos quanto à capacidade de induzir APX ao combate de espécies reativas de oxigênio. Como destaque negativo, sulfometuron-metil reduziu, significativamente, a atividade específica de APX em 82,76 %, comparado ao controle. Integrante de mecanismos detoxificadores secundários, APX combate radicais livres, atuando na redução de H_2O_2 a moléculas de água (H_2O), substância inócua à fisiológica vegetal.^{6,12,58} Por isso, alta atividade específica de APX é extremamente benéfica às culturas agrícolas, pois as tornam menos vulneráveis aos efeitos negativos de espécies reativas de oxigênio. Com base nesta premissa, inferiu-se que, talvez, as misturas, etefon + glifosato e sulfometuron-metil + glifosato, proporcionassem maior proteção à RB85-5156 e RB85-5453 contra radicais livres, casos os cultivares fossem estabelecidos em ambientes estressantes, como áreas marginais.

3.7. Parâmetros tecnológicos de caldo

Os parâmetros, °Brix, Pol, pureza e ATR, foram influenciados somente pelos maturadores químicos, indicando que as matérias-primas apresentaram perfis tecnológicos praticamente similares, exceto em relação à Fibra, influída por ambas as fontes de variação, ou seja, cultivar e maturador químico (Figura 3).

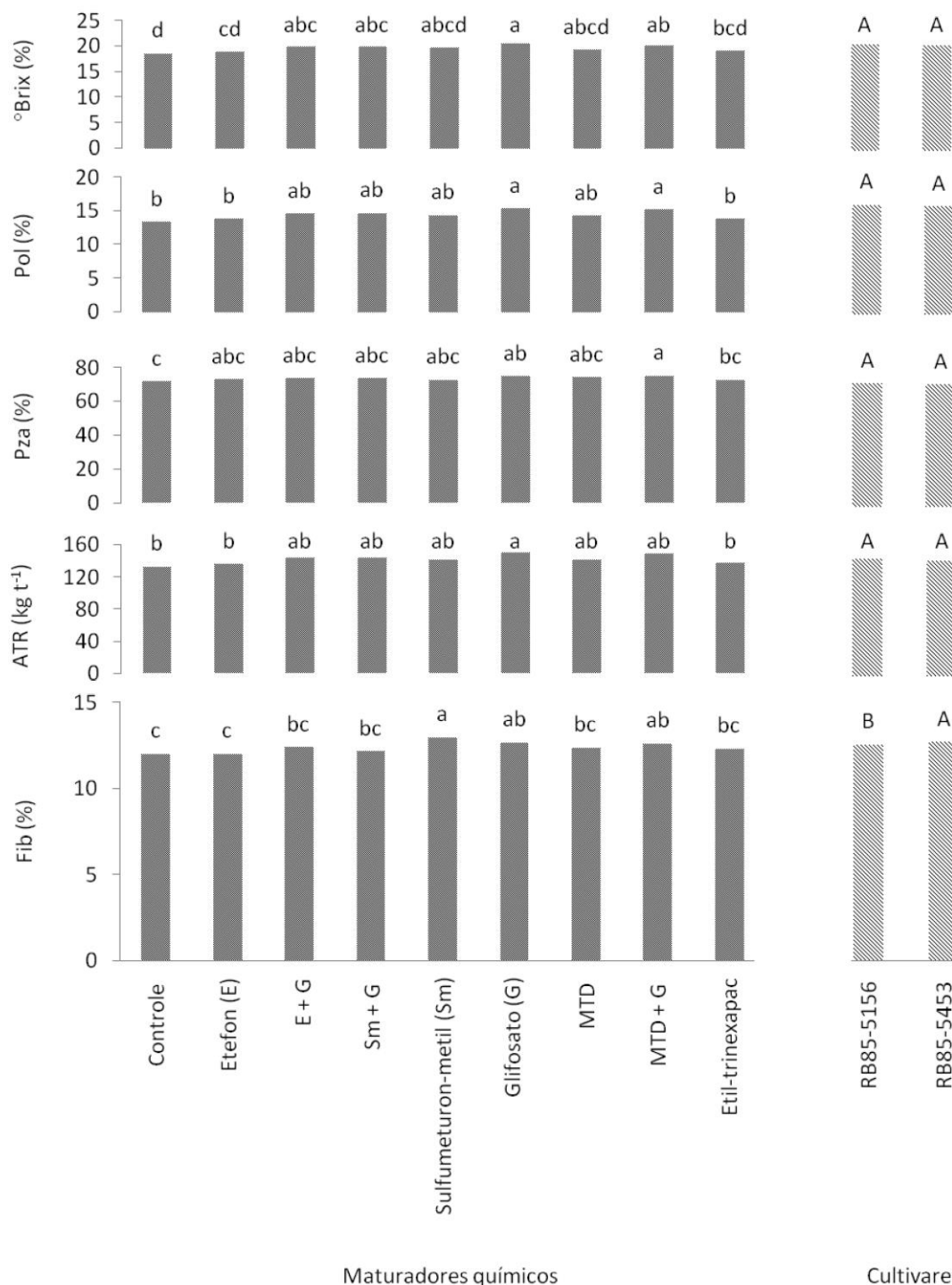


Figura 3. Efeitos isolados de maturadores químicos e cultivares nos parâmetros tecnológicos, °Brix, Pol, Pureza (Pza), açúcares teóricos recuperáveis (ATR) e fibras, de caldo de cana-de-açúcar; médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas comparam cultivares e maturadores químicos, respectivamente, pelo teste de Tukey (P<0,05).

O emprego de maturadores químicos em canaviais comerciais justifica-se pelos inúmeros benefícios proporcionados pelos mesmos ao setor sucroenergético: antecipação de colheita, ampliação de capacidade operacional de extração de

sacarose, economia de custos de produção e regularidade de oferta de etanol ao mercado consumidor são exemplos clássicos. Os ingredientes ativos, glifosato, etefon, sulfometuron-metil, etil-trinexapac e MTD, são, comprovadamente, capazes de aprimorar o perfil tecnológico de caldo, devido à capacidade de incitar plantas de cana-de-açúcar à produção e acúmulo de sacarose em parênquimas lacunosos, morfologicamente, situados em colmos. Por isso, é possível incrementar os rendimentos de °Brix, Pol, pureza e ATR em canaviais tratados com produtos formulados à base destas moléculas sintéticas, reiterando os resultados desta pesquisa. Adendo, salienta-se que, apesar de proporcionar benefícios ao setor sucroenergético, fitorreguladores exógenos devem ser aplicados, preferencialmente, em situações que dificultem a maturação fisiológica natural de cana-de-açúcar, induzida pelos fatores abióticos, fotoperíodo, temperatura e pluviometria.^{59,60}

3.8. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Ao nível de cultivares, não houve diferença significativa entre os percentuais de °Brix, pois RB85-5156 e RB85-5453 produziram caldos com médias iguais a 19,65 e 19,48 %, respectivamente. Dessemelhantemente, caldos extraídos de plantas submetidas às aplicações de glifosato e mistura, MTD + glifosato, corresponderam às maiores médias, 20,48 e 20,24 %, respectivamente, não havendo significância entre os tratamentos, que superaram o desempenho do controle, equivalente a 18,58 %, em, aproximadamente, dois pontos percentuais. Apesar da superioridade, os referidos tratamentos não diferiram, estatisticamente, em relação à etefon + glifosato, sulfometuron-metil + glifosato, sulfometuron-metil e MTD, que exibiram médias proporcionais a 19,90, 19,88, 19,74 e 19,30 %, respectivamente. Assertivamente, os maturadores químicos surtiram efeito positivo na qualidade de caldo, pois incrementaram o teor de sólidos solúveis

totais (SST), consideravelmente. Avaliando parâmetros tecnológicos de caldo extraído de plantas de cana-de-açúcar tratadas com maturadores químicos, pesquisadores verificaram que MTD + glifosato e glifosato proporcionaram incrementos equivalentes a 20,00 e 22,70 %, respectivamente, ao °Brix, devido à maior concentração de sacarose em secções de colmo, proporcionada por estresses fisiológicos induzidos pelas moléculas em questão, reiterando as constatações desta pesquisa.⁴ Em estudo prévio, pesquisadores retratam que as aplicações de sulfometuron-metil (0,015 kg ha⁻¹) e etil-trinexapac (0,2 kg ha⁻¹) em cana-de-açúcar resultaram em caldos com médias de °Brix iguais a 19,76 e 20,07 %, respectivamente, superando, irrisoriamente, os desempenhos apresentados pelos mesmos ingredientes ativos, neste estudo.⁶¹ Aplicando glifosato, etefon, etil-trinexapac e sulfometuron-metil em cana-de-açúcar (cv. RB86-7515), pesquisadores obtiveram êxito em incremento de °Brix, ao longo do período de desenvolvimento fenológico da cultura. De acordo com informações dos mesmos, o sucesso do manejo de fitorreguladores motivou-se pelo incremento de concentração de sacarose em estruturas de reserva, em virtude de paralisia de crescimento vegetativo, causada pela inativação de rotas de biossíntese de EPSPs, aceto-lactato sintase (ALS), auxinas e giberilinas, componentes enzimáticos e hormonais envolvidos em mecanismos promotores de divisão e alongamento celulares, processos que utilizam açúcares como recursos energéticos.⁵⁹ Em estudo prévio sobre produtividade, qualidade tecnológica e maturação química de cana-de-açúcar, pesquisadores obtiveram maiores percentuais de °Brix em plantas de *Saccharum officinarum* cv. CP54-614 submetidas às aplicações de glifosato e etefon, corroborando, definitivamente, os resultados desta pesquisa.⁶² Subdoses horméticas de glifosato são, intencionalmente, aplicadas a lavouras canavieiras, com os propósitos de aumentar produtividade de sacarose e, invariavelmente, qualidade industrial de matéria-prima.³⁶ Na

prática, variedades de cana-de-açúcar são consideradas aptas à colheita, quando produzem caldos com 15,50 a 16,50 °Brix.⁶⁰ Todavia, há pesquisadores que recomendam valores superiores a 18,00 °Brix, pois, nesta condição, há melhor qualidade de fermentação e incremento de produtividade de etanol.⁶¹ Portanto, todos os tratamentos aplicados a este estudo conferiram aos caldos das cultivares, RB85-5156 e RB85-5453, percentuais de sólidos solúveis totais acima dos padrões indicados à industrialização sustentável de cana-de-açúcar.

3.9. Sacarose (Pol)

Os cultivares produziram caldos com percentuais de sacarose, estatisticamente, indistintos: RB85-5156 (14,52 %) e RB85-5453 (14,29 %). Complementarmente, em relação aos maturadores químicos, glifosato e mistura, MTD + glifosato, proporcionaram médias de Pol iguais a 15,36 e 15,24 %, respectivamente, incrementando, portanto, a concentração de sacarose das matérias-primas em, aproximadamente, dois pontos percentuais, comparado ao controle (13,37%), que não diferiu de etefon (13,82 %), etefon + glifosato (14,67 %), sulfometuron-metil + glifosato (13,37 %), MTD (14,36 %) e etil-trinexapac (13,85 %). Pesquisas apontam que, geralmente, o percentual de Pol de caldo de cana-de-açúcar tratada com MTD + Glifosato, glifosato e sulfometuron-metil situa-se entre 14,94 a 15,42 %, corroborando os resultados deste estudo.^{4,59,61,63,64} Há reguladores de crescimento vegetal, como etefon, capazes de atuar como sinalizadores de *sucrose-phosphate synthase* (SPS) e *sucrose synthase* (Susy), enzimas precursoras de rotas de biossíntese de sacarose, polissacarídeo que se acumula em tecidos fotossintetizantes e parênquimas lacunosos de colmos imaturos, principalmente.⁶⁵ Na prática, recomenda-se a colheita de canaviais comerciais, somente, quando as plantas atingem grau de maturidade suficiente à produção de caldo com Pol equivalente a, pelo menos, 14,40 %.⁶¹ Portanto, constatou-se que os ingredientes ativos, etefon, sulfometuron-metil, MTD e

etil-trinexapac, propiciaram aos caldos dos cultivares, RB85-5156 e RB85-5453, percentuais de sacarose aquém do padrão desejado ao processamento industrial de cana-de-açúcar.

3.10. Pureza (Pza)

Em média, caldos extraídos de plantas não submetidas ao manejo de maturadores químicos apresentaram menor percentual de Pza, equivalente a 71,86 %, enquanto os obtidos de colmos tratados com MTD + glifosato e glifosato apresentaram valores correspondentes a 75,58 e 74,99 %, respectivamente, indicando que os ingredientes ativos em questão elevaram o percentual de pureza de matéria-prima em, aproximadamente, três pontos e meio, tornando-a mais apropriada à industrialização, pois há relação direta entre pureza de caldo e eficiência de recuperação de açúcares fermentescíveis.⁶⁰ Complementarmente, etefon, etefon + glifosato, sulfometuron-metil + glifosato, sulfometuron-metil, MTD e etil-trinexapac proporcionaram médias de Pza iguais a 72,88, 73,54, 73,78, 72,73, 74,41 e 72,63 %, respectivamente, não diferindo, estatisticamente, entre si e, em relação ao controle, MTD + glifosato e glifosato. Portanto, em termos absolutos, os maturadores alteraram positivamente a composição físico-química de caldo, tornando-o mais puro. Em relação às cultivares RB85-5156 e RB85-5453 produziram caldos com percentuais de Pza estaticamente indistintos: 73,84 e 73,29 %, respectivamente. Pesquisadores retrataram que a aplicação de glifosato em cana-de-açúcar incrementou a pureza de caldo em, aproximadamente, 9,11 %, o equivalente ao dobro do acréscimo percentual proporcionado pelo mesmo ingrediente ativo, nesta pesquisa.⁴ Presumiu-se que o efeito aditivo conferido pelo herbicida em questão estivesse relacionado, dentre outras possibilidades, à remoção de dominância apical pela inativação de auxinas, resultando

em modificação de dinamismo de partição de fotoassimilados, direcionando-os, preferencialmente, a rotas de biossíntese de sacarose, polissacarídeo determinante à Pza de caldo, estimada, indiretamente, pela relação Pol/°Brix. Pesquisadores declaram que matérias-primas aptas à industrialização de biocombustíveis e açúcares devem apresentar Pza superior a 80,00 %.⁶⁰ Logo, constatou-se que, apesar de crescerem o percentual deste parâmetro em caldos dos cultivares, RB85-5156 e RB85-5453, todos os ingredientes ativos aplicados como maturadores químicos o mantiveram abaixo do padrão preconizado pelo setor sucroenergético, que prima pelo processamento de caldo contendo limites toleráveis de elementos físicos, químicos e minerais, como bagacilho, metais pesados, macro e micronutrientes, impróprios à adequada taxa de recuperação de sacarose.

3.11. Açúcares teóricos recuperáveis (ATR)

Os reguladores de crescimento vegetal, etefon e etil-trinexapac, se associaram aos menores rendimentos de ATR, 136,90 e 137,13 kg t⁻¹, respectivamente, não diferindo, estatisticamente, entre si e, em relação ao controle, que exibiu média de ATR igual a 132,96 kg t⁻¹. Quanto aos demais maturadores químicos, glifosato correspondeu ao ingrediente ativo mais efetivo, pois propiciou a maior média de ATR (150,60 kg t⁻¹) aos cultivares de cana-de-açúcar. Todavia, o desempenho técnico deste herbicida não diferiu, estatisticamente, comparado à etefon + glifosato (144,32 kg t⁻¹), sulfometuron-metil + glifosato (144,32 kg t⁻¹), sulfometuron-metil (141,74 kg t⁻¹), MTD (141,41 kg t⁻¹) e MTD + glifosato (149,44 kg t⁻¹). Presumiu-se que a menor eficiência técnica da mistura, sulfometuron-metil + glifosato, em relação à dose isolada do herbicida, foi provocada, possivelmente, por incompatibilidade físico-química entre os ingredientes ativos, ou estímulo de sulfometuron-metil à atividade de *soluble acid invertase* (SAI), enzima

responsável pelo catabolismo de sacarose, degradando-a a frutose e glicose, monossacarídeos contribuintes à redução de ATR.⁶⁶ Por esse motivo, destaca-se a relevância do conhecimento prévio a respeito do grau de afinidade de moléculas químicas, a fim de evitar possíveis distúrbios fisiológicos, como inversão de sacarose, que resultem em depreciação de qualidade tecnológica de caldo de cana-de-açúcar. Em geral, caldos extraídos de plantas tratadas com maturadores químicos apresentaram qualidade tecnológica superior, em relação ao controle, pois se associaram às produtividades de ATR mais elevadas, indicando relações sinérgicas entre ingredientes ativos e cultivares, que exibiram rendimentos, estatisticamente, parelhos: RB85-5156 (143,19 kg t⁻¹) e RB85-5453 (141,07 kg t⁻¹). Diversas pesquisas comprovaram os efeitos sinérgicos de MTD, glifosato, etefon, sulfometuron-metil e etil-trinexapac aos rendimentos de ATR de cana-de-açúcar e sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench), matéria-prima alternativa à industrialização de biocombustíveis, principalmente, durante a entressafra da primeira cultura, época caracterizada pela redução de oferta e, invariavelmente, inflação de preço de etanol, considerando o histórico do contexto macroeconômico brasileiro.^{4,61,62,64} Assertivamente, incrementos em açúcares teóricos recuperáveis são benéficos aos elos da cadeia sucroenergética, pois este parâmetro determina o valor pago pela matéria-prima aos produtores e permite estimar, com maior precisão, a quantidade de sacarose passível de conversão em açúcar cristal, uma das principais *commodities* mundiais.⁶⁷ Embora a maturação fisiológica natural de cana-de-açúcar seja capaz de propiciar razoável produtividade de ATR à cultura, esta pode ser potencializada pela ação de moléculas sintéticas com propriedades favoráveis à biossíntese de sacarose, corroborando os resultados deste estudo.⁵⁹

3.12. Fibras (Fib)

Apesar da ligeira diferença, os cultivares de cana-de-açúcar diferiram, significativamente, em relação ao percentual de fibras: RB85-5156 (12,34 %) e RB85-5453 (12,48 %). Em relação aos efeitos de maturadores químicos, controle, etephon, etefon + glifosato, sulfometuron-metil + glifosato, sulfometuron-metil, glifosato, MTD, MTD + glifosato e etil-trinexapac proporcionaram matérias-primas com médias de Fib iguais a 12,03, 12,03, 12,41, 12,19, 12,98, 12,68, 12,39, 12,63 e 12,32 %, respectivamente, indicando que os produtos, exceto etefon, intensificaram a deposição de lignina em colmos de cana-de-açúcar.⁶⁸ Pesquisadores sugerem que aplicações de MTD + glifosato e glifosato em cana-de-açúcar aumentam o percentual de Fib desta matéria-prima em 12,00 e 17,00 %, respectivamente, corroborando, parcialmente, os resultados deste estudo, que indicou que os mesmos tratamentos surtiram efeitos similares, porém menos intensos.⁴ Embora prolonguem a vida útil de canavial, devido à maior proteção contra pragas entomológicas, fitopatógenos e adversidades edafoclimáticas, matérias-primas muito fibrosas comprometem a capacidade operacional efetiva de extração de sacarose. Por isso, recomenda-se cultivo de variedades com, no máximo, 12,00 - 13,00 % Fib.⁶⁰ Portanto, apesar de apresentarem médias superiores, em relação ao controle, plantas tratadas com maturadores químicos mantiveram percentuais de Fib ligeiramente abaixo do limite crítico à industrialização de cana-de-açúcar.

3.13. Correlação linear

Em relação aos atributos químicos de caldo, °Brix estabeleceu correlações positivas, com grau de associação considerado muito

forte, com Pol e ATR, e negativa, com grau de associação forte, com Fib e Pza. Quanto ao Pol, este se correlacionou, positivamente, com grau de associação muito forte, com ATR e Pza, e, negativamente, com grau de associação mediano, com Fibras. Complementarmente, houve correlação positiva, com grau de associação mediano, entre ATR e Fibras, e negativa, com grau de associação muito forte, entre a primeira variável e Pureza, que estabeleceu correlação negativa, com grau de associação linear fraco, porém significativo, com Fibras. Quanto às enzimas antioxidantes, SOD e CAT estabeleceram correlação negativa, com grau de associação mediano (Tabela 6).

Portanto, não houve correlações significativas entre parâmetros tecnológicos de caldo e atividades específicas de enzimas antioxidantes, refutando as perspectivas deste estudo, que pretendia atribuir qualidade industrial de matéria-prima à integridade de sistema antioxidante enzimático. Apesar do grau de associação muito fraco, °Brix, Pol e ATR se correlacionaram, positivamente, com SOD, CAT e APX, e, negativamente, com POD, enquanto a característica, Fibras, estabeleceu correlações inversas com APX e POD. Conforme previsto, as correlações positivas estabelecidas entre °Brix, Pol e ATR, e negativas entre °Brix, Pureza e Fibras, sugeriram que acréscimos em sólidos solúveis totais resultam em maiores rendimentos de sacarose e, invariavelmente, açúcares teóricos recuperáveis; entretanto, reduz o percentual de fibras de matéria-prima e a torna menos pura, condição indesejável à industrialização de cana-de-açúcar.⁴ Atribuiu-se a natureza da correlação inversa estabelecida entre SOD e CAT à dinâmica de eliminação de radicais livres: a princípio, SOD encontra-se em nível, relativamente, superior, pois o sistema antioxidante enzimático necessita reduzir as espécies reativas de oxigênio, O_2^- e OH^- , a H_2O_2 .

Tabela 6. Matriz de correlação dos parâmetros tecnológicos de caldo e atividades específicas de enzimas antioxidantes de cultivares de cana-de-açúcar tratadas com maturadores químicos

R ¹ Pearson	Pol	ATR	Fibras	Pureza	SOD	CAT	APX	POD
°Brix	0,98*	0,98*	- 0,70*	- 0,85*	0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,05 ^{ns}	- 0,10 ^{ns}
Pol		0,99*	- 0,63*	0,93*	0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	- 0,03 ^{ns}
ATR			- 0,63*	0,92*	0,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	- 0,03 ^{ns}
Fibras				- 0,44*	0,13 ^{ns}	0,05 ^{ns}	- 0,15 ^{ns}	- 0,15 ^{ns}
Pureza					0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,13 ^{ns}
SOD						- 0,62*	- 0,17 ^{ns}	- 0,20 ^{ns}
CAT							0,26 ^{ns}	0,15 ^{ns}
APX								- 0,18 ^{ns}

¹Grau de associação linear: muito forte ($R > 0,90$), forte ($0,70 \leq R \leq 0,90$), mediano ($0,50 \leq R \leq 0,70$), fraco ($0,30 \leq R \leq 0,50$) e muito fraco ($R < 0,03$); * Significativo ($P < 0,05$); ^{ns} não significativo ($P \geq 0,05$)

Então, ao término da primeira etapa, há decréscimo de atividade de SOD e estímulo à concentração de CAT, para que H_2O_2 seja, finalmente, reduzido a H_2O , espécie não reatividade de oxigênio.⁶⁹ Pesquisadores obtiveram correlações positivas entre SOD, APX e POD, divergindo dos resultados desta pesquisa, indicando que maturadores químicos são capazes de modificar, significativamente, os padrões de interação entre enzimas antioxidantes em cana-de-açúcar.⁶ Embora insignificantes, as correlações positivas estabelecidas entre °Brix, Pol e ATR e atividades enzimáticas de SOD, CAT e APX indicaram que plantas de RB85-5156 e RB85-5453 com maior integridade morfofisiológica são mais propensas à produção de caldo de qualidade industrial superior, devido, possivelmente, à menor ocorrência de reações oxidativas, capazes de causar despigmentação de clorofilas e inversão de sacarose, condições limitantes ao potencial produtivo de cana-de-açúcar.^{28,70,71} Complementarmente, as correlações inversas estabelecidas entre Fibras, APX e POD sugeriram que: quanto maior a intensidade de estresse oxidativo induzido por aplicação de maturadores químicos, menos fibrosa a matéria-prima, em decorrência de obstrução de rotas de

biossíntese de elementos estruturais necessários à plena lignificação de membrana celular.⁷²

4. Conclusões

O herbicida, glifosato, combinado à MTD e aplicado, isoladamente, proporcionou os melhores rendimentos de °Brix, Pol, pureza e ATR, se qualificando, portanto, como ingrediente ativo preferível à aplicação como maturador químico em canaviais comerciais destinados, especificamente, à industrialização de açúcares (cristal e demerara) e bioetanol de primeira geração.

O regulador de crescimento, etefon, combinado à glifosato e aplicado, isoladamente, proporcionou maiores atividades específicas às enzimas antioxidantes, CAT e POD, indicando que a liberação de etileno durante o processo de maturação induzida, quimicamente, em cana-de-açúcar intensificou o estresse oxidativo, ativando o sistema de defesa vegetal.

Plantas tratadas com maturadores químicos produziram caldo com qualidade tecnológica superiores aos padrões desejados

à industrialização de cana-de-açúcar e exibem sistemas antioxidantes enzimáticos mais reativos a radicais livres, características requeridas ao estabelecimento de lavouras canavieiras em áreas marginais, caracterizadas pela alta frequência de estresses bióticos e abióticos limitantes à expansão territorial da indústria sucroenergética.

Referências Bibliográficas

- ¹ Waclawovsky, A. J.; Sato, P. M.; Lembke, C. G.; Moore P. H.; Souza, G. M. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. *Plant Biotechnological Journal* **2010**, *8*, 1. [CrossRef]
- ² Boaretto, L. F.; Mazzafera, P. The proteomes of feedstocks used for the production of second-generation ethanol: a lacuna in the biofuel era. *Annals of Applied Biology* **2013**, *163*, 12. [CrossRef]
- ³ Boaretto, L. F.; Carvalho, G. Borgo, L. Creste, S. Landell, M. G. A.; Mazzafera, P.; Azevedo, R. A. Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry* **2014**, *74*, 165. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴ Viana, R. S.; Lisboa, L. A. M.; Figueiredo, P. A. M.; Neto, A. D. R. Parâmetros tecnológicos e produtivos da cana-de-açúcar quando submetida à aplicação de maturadores químicos no início de safra. *Revista Brasileira de Herbicidas* **2017**, *16*, 67. [CrossRef]
- ⁵ Graça, J. P.; Rodrigues, F. A.; Farias, J. R. B.; Oliveira, M. C. N.; Campo, C. B. H.; Zingaretti, S. M. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. *Brazilian Journal of Plant Physiology* **2010**, *22*, 189. [CrossRef]
- ⁶ Santos, C. M.; Silva, M. A. Physiological and biochemical responses of sugarcane to oxidative stress induced by water deficit and paraquat. *Sugar Tech* **2015**, *37*, 172. [CrossRef]
- ⁷ Goraya, G. K.; Asthir, B. Magnificent role of intracellular reactive oxygen species production and its scavenging encompasses downstream processes. *Journal of Plant Biology* **2016**, *59*, 215. [CrossRef]
- ⁸ Gomathi, R.; Manobari, G.; Rakkiyappan, P. Antioxidant enzymes on Cell membrane integrity of sugarcane varieties differing in flooding tolerance. *Sugar Tech* **2012**, *14*, 261. [CrossRef]
- ⁹ Gallego, S. M.; Pena, L. B.; Barcia, R. A.; Azpilicueta, C. E.; Iannone, M. F.; Rosales, E. P.; Benavides, M. P. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany* **2012**, *83*, 33. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁰ Silva, L. F.; Ruiza, M. R.; Houmania, H.; Silva, L. C.; Palma, J. M.; Francisco J. Corpas, F. J. Glyphosate-induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* affecting peroxisomal metabolism and triggers activity in the oxidative phase of the pentose phosphate pathway (OxPPP) involved in NADPH generation. *Journal of Plant Physiology* **2017**, *218*, 196. [CrossRef] [PubMed]
- ¹¹ Ghane, S. G.; Lokhande, V. H.; Nikam, T. D. Differential growth, physiological and biochemical responses of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) cultivars to water-deficit (drought) stress. *Acta Physiologiae Plantarum* **2012**, *34*, 215. [CrossRef]
- ¹² Sharma, P.; Jha, A. B.; Dubey, R. S.; Pessarikli, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany* **2012**, 2012. [CrossRef]
- ¹³ Kaur, K.; Kaur, N.; Gupta, A. K.; Singh, I. Exploration of the antioxidative defense system to characterize chickpea genotypes showing differential response towards water deficit conditions. *Plant Growth Regulation* **2013**, *70*, 49. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁴ Athar H. R.; Khan A.; Ashraf, M. Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany* **2008**, *63*, 224. [CrossRef]

- ¹⁵ Wahid A.; Perveen, M.; Gelani, S.; Shahzad, M. A. B. Pretreatment of seed with H₂O₂ improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins. *Journal of Plant Physiology* **2007**, *164*, 283. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁶ Yin, X. L.; Jiang L.; Song, N. H.; Yang H. Toxic reactivity of wheat (*Triticum aestivum* L) plants to herbicide isoproturon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2008**, *56*, 4825. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁷ Sajid, Z. A.; Aftab, F. Amelioration of salinity tolerance in *Solanum tuberosum* L. by exogenous application of ascorbic acid. *In vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* **2009**, *45*, 540. [[CrossRef](#)]
- ¹⁸ Chahid, K.; Laglaoui, A.; Zantar, S.; Ennabili, A. Antioxidant enzyme reaction to the oxidative stress due to alpha-cypermethrin, chlorpyrifos and pirimicarb in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Environmental Science and Pollution Research* **2015**, *22*, 18115. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁹ Doron-Faigenboim, A.; Sadeh, A.; Avidan, B.; Burstein, C.; Schneider, D.; Ben-Ari, G.; Goldental-Cohen, S. Ethephon induced oxidative stress in the olive leaf abscission zone enables development of a selective abscission compound. *BMC Plant Biology* **2017**, *17*, 87. [[CrossRef](#)]
- ²⁰ Heerden, van P. D. R. Evaluation of Trinexapac-ethyl (Moddus®) as a New Chemical Ripener for the South African Sugarcane Industry. *Sugar Tech* **2014**, *16*, 295. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Sibomana, M. S.; Sobratee, N.; Workneh, T. S.; Bezuidenhout, C. N. Attempts to detect the degree of deterioration in commercial sugarcane. *Proceedings of South African Sugar Technologists' Association* **2014**, *87*, 482. [[Link](#)]
- ²² Rademacher, W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation* **2015**, *34*, 845. [[CrossRef](#)]
- ²³ Monteiro, C. C.; Carvalho, R. F.; Gratão, P. L.; Carvalho, G.; Tezotto, T.; Medici, L. O.; Azevedo, R. A. Biochemical responses of the ethylene-insensitive Never ripe tomato mutant subjected to cadmium and sodium stresses. *Environmental and Experimental Botany* **2011**, *71*, 306. [[CrossRef](#)]
- ²⁴ Kluge, R. A.; Azevedo, R. A.; Jomori, M. L. L.; Edagi, F. K.; Jacomino, A. P.; Gaziola, S. A.; Aguila, J. S. Efeitos de tratamentos térmicos aplicados sobre frutas cítricas armazenadas sob refrigeração. *Ciência Rural* **2006**, *36*, 1388. [[Link](#)]
- ²⁵ Peixoto, P. H. P.; Cambraia, J.; Sant'Anna, R.; Mosquim, R.; Moreira, M. A. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* **1999**, *11*, 137. [[Link](#)]
- ²⁶ Meschede, D. K.; Velini, E. D.; Carbonari, C. A.; Silva J. R. M. Physiological alteration in sugarcane influenced by glyphosate and sulfometuron-methyl application. *Planta Daninha* **2011**, *29*, 413. [[CrossRef](#)]
- ²⁷ Meschede, D. K.; Velini, E. D.; Tonin, F. G.; Carbonari, C. A. Alterações no metabolismo da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores. *Planta Daninha* **2012**, *30*, 113. [[Link](#)]
- ²⁸ Sinha, P.; Chatterjee, C. Disturbances in Growth, Yield, Sucrose Concentration and Antioxidative Defense System by Excess Cobalt in Sugarcane. *Journal of plant nutrition* **2015**, *38*, 541. [[CrossRef](#)]
- ²⁹ Munir, N.; Aftab, F. Enhancement of salt tolerance in sugarcane by ascorbic acid pretreatment. *African Journal of Biotechnology* **2011**, *10*, 18362. [[Link](#)]
- ³⁰ Cia, M. C.; Guimarães, A. C. R.; Medici, L. O.; Chabregas, S. M.; Azevedo, R. A. Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and sensitive sugarcane varieties. *Annual of Applied Biology* **2012**, *161*, 313. [[CrossRef](#)]
- ³¹ Sekmen, A. H.; Ozgur, R.; Uzilday, B.; Turkan, I. Reactive oxygen species scavenging capacities of cotton (*Gossypium hirsutum*) cultivars under combined drought and heat

- induced oxidative stress. *Environmental and Experimental Botany* **2014**, *99*, 141. [CrossRef].
- ³² Gill, S. S.; Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* **2010**, *48*, 909. [CrossRef] [PubMed]
- ³³ Shrivastava, S.; Pathak, A. D.; Gupta, P. D.; Shrivastava, A. K.; Shrivastava, A. K. Hydrogen peroxide scavenging enzymes impart tolerance to high temperature induced oxidative stress in sugarcane. *Journal of Environmental Biology* **2012**, *33*, 657. [PubMed]
- ³⁴ Agustí, J.; Merelo, P.; Cercós, M.; Tadeo, F. R.; Talón, M. Ethylene-induced differential gene expression during abscission of citrus leaves. *Journal of Experimental Botany* **2008**, *59*, 2717. [CrossRef] [PubMed]
- ³⁵ Dutta, U. Evaluation of ethephon-induced oxidative stress to gonadal disorder and its amelioration by ethanolic extract of shoot of *Bambusa balcooa* Roxb. in Albino rat. *Toxicology Letters* **2015**, *2*, 269. [CrossRef]
- ³⁶ Belz, R. G.; Duke, S. O. Herbicide-mediated hormesis. In: Pesticide Dose: Effects on the Environment and Target and Non-Target Organisms. *American Chemical Society* **2017**, *1249*, 189. [CrossRef]
- ³⁷ Percival, G. C. The influence of glyphosate on carotenoid pigments and reactive oxygen species scavenging enzymes and secondary stress metabolites within leaf tissues of three *Acer* species. *Urban Forestry & Urban Greening* **2017**, *24*, 19. [CrossRef]
- ³⁸ Duke, S. O.; Wedge, C. E.; Cerdeira, A. L.; Matallo, M. B. Herbicide effects on plant disease. *Outlooks on Pest Management* **2007**, *18*, 36. [CrossRef]
- ³⁹ Ashad, N. G.; Lee, D.; Won, K. W. Iftexhar, A.; Lee, S. H.; Bahk, J. D.; Lee, B. H. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. *Plant Physiology and Biochemistry* **2008**, *46*, 1062. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴⁰ Tzin, V.; Galili, G. New insights into the shikimate and aromatic amino acids biosynthesis pathways in plants. *Molecular Plant* **2010**, *3*, 956. [CrossRef]
- ⁴¹ Shahrtash, M.; Mohsenzadeh, S.; Mohabatkar, H. Salicylic acid alleviates paraquat oxidative damage in maize seedling. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences* **2011**, *2*, 377. [Link]
- ⁴² Maeda, H.; Dudareva, N. The shikimate pathway and aromatic amino acid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Biology* **2012**, *63*, 73. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴³ Peek, J.; Christendat, D. The shikimate dehydrogenase family: functional diversity within a conserved structural and mechanistic framework. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **2015**, *566*, 85. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴⁴ Wu, G. L.; Cui, J.; Tao, L.; Yang, H. Fluroxypyr triggers oxidative damage by producing superoxide and hydrogen peroxide in rice (*Oryza sativa*). *Ecotoxicology* **2010**, *19*, 124. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴⁵ Sood, A.; Pabbib, S.; Uniyala, P. L. Effects of paraquat on lipid peroxidation and antioxidant enzymes in aquatic fern *Azolla microphylla*. *Russian Journal of Plant Physiology* **2011**, *58*, 667. [CrossRef]
- ⁴⁶ Blanco-Ayala, T.; Andérica-Romero, A. C.; Pedraza-Chaverri, J. New insights into antioxidant strategies against paraquat toxicity. *Free Radical Research* **2014**, *48*, 623. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴⁷ Rai, R. K.; Singhi, P.; Shrivastava, A. K.; Suman, A. Modulation of low-temperature-induced biochemical changes in bud and root band zones of sugarcane sets by potassium, zinc and ethrel for improving sprouting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2008**, *56*, 11976. [CrossRef]. [PubMed]
- ⁴⁸ Gomathi, R.; Rakkiyapan. Comparative lipid peroxidation, leaf membrane thermostability, and antioxidant system in four sugarcane genotypes differing in salt tolerance. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* **2011**, *3*, 67. [Link]

- ⁴⁹ Yu, H.; Zhang, Y.; Xie, Y.; Wang, Y.; Duan, L.; Zhang, M.; Li, Z. Ethephon improved drought tolerance in maize seedlings by modulating cuticular wax biosynthesis and membrane stability. *Journal of Plant Physiology* **2017**, *214*, 123. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁵⁰ Sakamoto, M.; Munemura, I.; Tomita, R.; Kobayashi, K. Reactive oxygen species in leaf abscission signaling. *Plant Signal Behavior* **2008**, *3*, 1014. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁵¹ Dourado, M. N.; Martins, P. F.; Quecine, M. C.; Piotto, F. A.; Souza, L. A.; Franco, M. R.; Azevedo, R. A. *Burkholderia* sp. SCMS54 reduces cadmium toxicity and promotes growth in tomato. *Annals of Applied Biology* **2013**, *163*, 494. [[CrossRef](#)]
- ⁵² Jain, R.; Chandra, A.; Venugopalan, K. V. Physiological changes and expression of SOD and P5CS genes in response to water deficit in sugarcane. *Sugar Tech* **2015**, *17*, 276. [[CrossRef](#)]
- ⁵³ Gosal, S. S.; Wani, S. H.; Kang, M. S. Biotechnology and drought tolerance. *Journal of Crop Improvement* **2009**, *23*, 19. [[CrossRef](#)]
- ⁵⁴ Devi, R.; Kaur, N.; Gupta, A. K. Potential of antioxidant enzymes in depicting drought tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics* **2012**, *49*, 257. [[PubMed](#)]
- ⁵⁵ Jangpromma, N.; Songsri, P.; Thammasirirak, S.; Jaisil, P. Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a spad chlorophyll meter across different water stress conditions. *Asian Journal of Plant Sciences* **2010**, *9*, 368. [[Link](#)]
- ⁵⁶ Chagas, R. M.; Silveira, J. A. G.; Ribeiro, R. V.; Vitorello, V. A.; Carrer, H. Photochemical damage and comparative performance of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in sugarcane leaves exposed to paraquat-induced oxidative stress. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **2008**, *90*, 181. [[CrossRef](#)]
- ⁵⁷ Kishorekumar, A.; Jaleel C. A.; Manivannan, P.; Sankar, B.; Sridharan, R.; Murali, P. V.; Panneerselvam, R. Comparative effects of different triazole compounds on antioxidant metabolism of *Solenostemon rotundifolius*. *Colloids Surf B: Biointerfaces* **2008**, *62*, 307. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁵⁸ Yoon, J. Y.; Shin, J. S.; Shin, D. Y.; Hyun, K. H.; Burgos, N. R.; Lee, S.; Kuk, Y. I. Tolerance to paraquat-mediated oxidative and environmental stresses in squash (*Cucurbita* spp.) leaves of various ages. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **2011**, *99*, 65. [[CrossRef](#)]
- ⁵⁹ Oliveira Filho, P. B.; Junior, J. B. D.; Costa, A. C. T.; Oliveira, P. S. R.; Junior, E. K. M.; Guimaraes, V. F.; Bosquette, W. Chemical ripeners and different harvest periods in sugarcane in State of Paraná, Southern Brazil. *African Journal of Agricultural Research* **2016**, *11*, 3904. [[CrossRef](#)]
- ⁶⁰ Viana, R. S.; May, A.; Mateus, G. P.; Neto, A. D. R.; Lopes, P. R. M. Aspectos tecnológicos de sorgo-sacarino submetido à aplicação de maturadores químicos. *Científica* **2017**, *45*, 204. [[CrossRef](#)]
- ⁶¹ Inoue, M. H.; Cappellesso, E. J. S.; Mendes, K. F.; Bem, R.; Conciani, P. A. Eficiência do bispyribac-sodium como maturador na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica* **2015**, *46*, 80. [[Link](#)]
- ⁶² Karmollachaab, A.; Bakhshandeh, A.; Telavat, M. M.; Moradi, F.; Shomeili, M. Sugarcane yield and technological ripening responses to chemical ripeners. *Sugar Tech* **2016**, *18*, 285. [[CrossRef](#)]
- ⁶³ Siqueira, G. F.; Crusciol, C. A. C.; Leite, G. H. P. Maturadores em cana-de-açúcar: Efeito de Misturas de Produtos. *STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos* **2014**, *33*, 46. [[Link](#)]
- ⁶⁴ Roberto, G. G.; Cunha, C.; Sales, C. R. G.; Silveira, N. M.; Ribeiro, R. V.; Machado, E. C.; Lagôa, A. M. M. A. Variation of photosynthesis and carbohydrate levels induced by ethephon and water deficit on the ripening stage of sugarcane. *Bragantia* **2015**, *74*, 379. [[CrossRef](#)]
- ⁶⁵ Shrivastava, A. K.; Solomon, S.; Rai, R. K.; Singh, P.; Chandra, A.; Jain, R.; Shukla, S. P. Physiological interventions for enhancing

- sugarcane and sugar productivity. *Sugar Tech* **2015**, *17*, 215. [CrossRef]
- ⁶⁶ Crusciol, C. A. C.; Leite, G. H. P.; Siqueira, G. F.; Silva, M. A. Response of application of growth inhibitors on sugarcane productivity and sucrose accumulation in the middle of cropping season in Brazil. *Sugar tech* **2017**, *19*, 155. [CrossRef]
- ⁶⁷ Viana R. S.; Figueiredo, P. A. M.; Lisboa, L. A. M.; Assumpção, A. C. N. D.; Sá, M. E.; May, A. Aplicação de fitoreguladores químicos na qualidade tecnológica do sorgo sacarino cv. Biomatrix 535. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* **2016**, *14*, 326. [CrossRef]
- ⁶⁸ Karmollachaab, A.; Bakhshandeh, A.; Moraditlavat, M. R.; Moradi, F.; Shomeili, M. Effect of chemical ripeners application on yield, quality and technological ripening of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences* **2015**, *17*, 63. [Link]
- ⁶⁹ Corpas, F. J.; Barroso, J. B. Lead-induced stress, which triggers the production of nitric oxide (NO) and superoxide anion (O₂⁻) in Arabidopsis peroxisomes, affects catalase activity. *Nitric Oxide* **2017**, *68*, 103. [CrossRef]
- ⁷⁰ Heyno, E.; Mary, V.; Schopfer, P.; Krieger-Liszkay, A. Oxygen activation at the plasma membrane: relation between superoxide and hydroxyl radical production by isolated membranes. *Planta* **2011**, *234*, 35. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷¹ Patade, V. P.; Bhargava, S.; Suprasanna, P. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. *Journal of Plant Interactions* **2011**, *6*, 275. [CrossRef]
- ⁷² Saoncella, A. L.; Marteline, M. A.; Moraes, C. P. Anatomia dos órgãos vegetativos de *Cattleya violacea* (Kunth) Rolfe (Orchidaceae). *Iheringia. Série Botânica* **2017**, *72*, 114. [CrossRef].
- ⁷³ National Center for Biotechnology Information (NCBI). Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3496>. Acesso em: 17 maio 2018.
- ⁷⁴ Consecana - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. *Manual de instruções*, 5a ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. [Link]