

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

VICTOR HUGO SANTANA SILVEIRA

**EFEITOS DO MATURADOR TRINEXAPAQUE ETÍLICO EM CANA-DE-
AÇÚCAR QUANDO ASSOCIADO À MISTURA DE AZOXISTROBINA COM
CIPROCONAZOL**

**Ilha Solteira
2024**



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

VICTOR HUGO SANTANA SILVEIRA

**EFEITOS DO MATURADOR TRINEXAPAQUE ETÍLICO EM CANA-DE-
AÇÚCAR QUANDO ASSOCIADO À MISTURA DE AZOXISTROBINA COM
CIPROCONAZOL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Paulo Alexandre
Monteiro de Figueiredo
Orientador

**Ilha Solteira
2024**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

S587e Silveira, Victor Hugo Santana.
Efeitos do maturador trinexapaque etílico em cana-de-açúcar quando associado à mistura de azoxistrobina com ciproconazol / Victor Hugo Santana Silveira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
52 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2024

Orientador: Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo
Inclui bibliografia

1. Maturador. 2. Fungicida. 3. Produtividade. 4. *Saccharum* Spp.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeitos do maturador trinexapaque etílico em cana-de-açúcar quando associado à mistura de Azoxistrobina com Ciproconazol

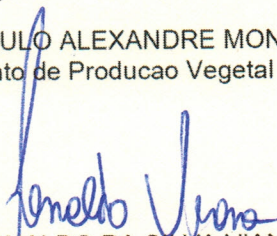
AUTOR: VICTOR HUGO SANTANA SILVEIRA

ORIENTADOR: PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP



Prof. Dr. RONALDO DA SILVA VIANA (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP

Documento assinado digitalmente

gov.br

JULIO CESAR GARCIA
Data: 18/12/2024 10:26:31-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. JULIO CÉSAR GARCIA (Participação Virtual)
Instituto Agronômico de Campinas - IAC

Ilha Solteira, 16 de dezembro de 2024

Aos meus amados pais, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram incondicionalmente. Sua sabedoria, paciência e amor foram a base sobre a qual construí minha trajetória acadêmica. Sou eternamente grato por tudo que fizeram por mim.

Aos meus queridos filhos, que são minha maior fonte de alegria e motivação. Vocês me ensinaram o verdadeiro significado de perseverança e amor incondicional. Este trabalho é dedicado a vocês, com todo o meu amor

Obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Doralice e José Silveira Neto, pelo amor incondicional, apoio constante e por sempre acreditarem no meu potencial. Vocês são a base de todas as minhas conquistas e a inspiração para seguir em frente.

Aos meus filhos Catarina e Nicolas, que são minha maior fonte de alegria e motivação. Obrigado por sua paciência e compreensão durante este período desafiador. Vocês me ensinaram o verdadeiro significado de perseverança e amor.

Aos meus gestores Willie Cintra e Aimar Pedrini, que me proporcionaram as oportunidades e o ambiente necessário para crescer profissionalmente. Sua confiança e apoio foram essenciais para a realização deste trabalho.

Ao meu fiel escudeiro, Osni Oliveira Ponciano, sem o qual não seria possível conduzir com a qualidade e rigor necessários as avaliações desse trabalho. Parceiro incansável.

À Companhia Mineira de Açúcar e Álcool na pessoa do seu Gerente Corporativo de Planejamento e Desenvolvimento Agrônomo, Robson Souza, por disponibilizar apoio do seu time e área para a condução dos experimentos.

Aos meus mentores Antônio Carlos Arabicano Gheller (*in memoriam*) e o professor Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo, que com sabedoria e dedicação, me guiaram e incentivaram a superar desafios e alcançar novos patamares. Sua orientação foi inestimável e sou profundamente grato por todo o conhecimento compartilhado.

"Aqueles que passam por nós não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós. " - Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

Objetivou-se comparar o potencial de acúmulo de açúcares nos colmos em desenvolvimento através da indução fisiológica em canavial em resposta ao uso do regulador vegetal trinexapaque etílico, quando associado à mistura de fungicidas azoxistrobina e ciproconazol. Assim, procurou-se identificar os efeitos dos indutores da maturação quanto à síntese de sacarose. O experimento foi conduzido em um canavial de primeiro corte da variedade RB966928 em início de safra, localizado na área rural do Distrito de Miraporanga – Município de Uberlândia - MG. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 10x4, totalizando 40 tratamentos. Foram utilizadas cinco repetições por tratamento, totalizando 200 parcelas amostrais ou unidades experimentais. O primeiro fator foi composto pelos seguintes níveis: DAA - 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 63 dias após a pulverização dos produtos. O segundo fator foi composto por quatro níveis, representados por produtos indutores da maturação da cana-de-açúcar – IMC – Controle; Maturador; Fungicida; e Maturador com Fungicida. Foi avaliado o efeito dos produtos nas seguintes situações: Trinexapaque 0,0 L/ha e Azoxistrobina com Ciproconazol 0,0 L/ha; Trinexapaque 0,8 L/ha e Azoxistrobina com Ciproconazol 0,0 L/ha; Trinexapaque 0,0 L/ha e Azoxistrobina com Ciproconazol 0,5 L/ha; Trinexapaque 0,8 L/ha e Azoxistrobina com Ciproconazol 0,5 L/ha. Em cada época, foram avaliadas as seguintes características: análises biométricas de diâmetro e altura do colmo e número de perfilhos (colmos) e peso médio dos colmos. Nas análises tecnológicas foram avaliadas as seguintes características: Brix%, Pol%, Fibr%, Pureza%, ATR, ARcana, produtividade da cana em toneladas de colmos por hectare e produtividade de açúcar por hectare. Os resultados obtidos demonstraram que o IMC maturador, associado ou não com a mistura de fungicidas inibiu o crescimento da cana, mantendo constante a média do diâmetro do colmo e o peso e conseqüentemente aumentando o teor do açúcar total recuperável, além de melhorar a qualidade da cana evidenciado pelo incremento nos teores dos parâmetros de Brix% e Pol%. A produtividade não foi afetada pelos IMC, apenas sofreu influência das épocas de amostragem.

Palavras-chave: maturador; fungicida; produtividade, *Saccharum* spp.

ABSTRACT

This study aimed to compare the potential for sugar accumulation in developing stalks through the induction of physiological conditioning in sugarcane fields in response to the use of the plant growth ripener trinexapac-ethyl when associated with the mixture of azoxystrobin and cyproconazole fungicides, thus seeking to identify the effects of the inducers for sugar cane maturation on sucrose synthesis. The experiment was conducted in a first-cut sugarcane field of the RB966928 variety at the beginning of the harvest located in the rural area of the District of Miraporanga - Uberlândia County/MG. A randomized block design in a 10x4 factorial scheme was used, totaling 40 treatments. Five replicates per treatment were used, totaling 200 sample plots or experimental units. The first factor consisted of the following levels: DAA - 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 and 63 days after spraying the products. The second factor consisted of four levels, represented by sugarcane maturation induction products - IMC - Control; Ripener; Fungicide; and Ripener with Fungicide. The effect of the products was evaluated in the following situations: Trinexapac 0.0 L/ha and Azoxystrobin with Cyproconazole 0.0 L/ha; Trinexapac 0.8 L/ha and Azoxystrobin with Cyproconazole 0.0 L/ha; Trinexapac 0.0 L/ha and Azoxystrobin with Cyproconazole 0.5 L/ha; Trinexapac 0.8 L/ha and Azoxystrobin with Cyproconazole 0.5 L/ha. In each season, the following characteristics were evaluated: biometric analyses of stalk diameter and height and number of tillers (stalks) and average weight of the stalks. In the technological analyses, the following characteristics were evaluated: Brix%, Pol%, Fiber%, Purity%, ATR and ARcane, sugarcane productivity in tons of stalks per hectare and tons of sugar per hectare. The results found that the ripener associated or not with the mixture of fungicides inhibited the growth of the sugarcane, keeping the average of the stem diameter and weight constant and consequently increasing the content of the total recoverable sugar, in addition to improving the quality of the sugarcane evidenced by the increase in the levels of the Brix% and Pol% parameters. Productivity was not affected by the IMC; it was only influenced by the sampling times.

Keywords: fungicide; productivity; ripener; *Saccharum* spp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de algumas Giberelinas.	21
Figura 2 – Vista aérea das parcelas experimentais avaliadas no projeto.....	25
Figura 3 – A) Aplicação dos IMC via pulverizador costal e B) Barra metálica de 6 pontas. .	26
Figura 4 – Colmos de cana separados para realizar a pesagem.....	27
Figura 5 - Representação gráfica da análise de regressão polinomial de ATR em função das épocas de amostragem para os IMC aplicados.....	40
Figura 6 – Representação gráfica da análise de regressão polinomial de TCH em função das épocas de amostragem para os IMC aplicados.....	41
Figura 7 – Representação gráfica da análise de regressão polinomial de TAH em função das épocas de amostragem para os IMC aplicados.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos indutores da maturação da cana aplicados no experimento.	26
Tabela 2 – Análise de variância e o teste F para os parâmetros de diâmetro do colmo (cm), altura (cm), número de colmos por metro linear e peso médio para 1 cana de acordo com os IMC aplicados e os dias após a aplicação.....	33
Tabela 3 – Valores médios dos desdobramentos obtidos pela análise de variância das interações significativas entre os IMC e as diferentes épocas de amostragem para o parâmetro de altura (cm).....	35
Tabela 4 – Valores médios obtidos por meio da análise de variância e do teste F na avaliação dos efeitos dos IMC e das épocas de amostragem nos parâmetros de Brix%, Fibra%, Pol%, ATR (kg t^{-1}), ARcana, produtividade (TCH) (t ha^{-1}) e toneladas de ATR por hectare (TAH) (t de ATR ha^{-1}).	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATR – Açúcar total recuperável

AR% Cana – Açúcar redutor na cana

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CONSECANA – Conselho dos Produtores de Cana de Açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo

DAA – Dias após aplicação

GA – Giberelina

GWh – Gigawatt-hora

IMC – Indutores da maturação da cana-de-açúcar

PCTS – Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose

TAH – Toneladas de açúcar por hectare

TCH – Toneladas de cana por hectare

TE – Trinexapaque etílico

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Cultivo de cana-de-açúcar no Brasil.....	15
2.2	Estratégias no manejo da cana-de-açúcar.....	17
2.3	(Maturadores químicos) Trinexapaque etílico	19
3	OBJETIVOS	24
3.1	Objetivo Geral	24
3.2	Objetivos específicos	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	Avaliações biométricas	27
4.2	Parâmetros de qualidade tecnológica e componentes de rendimento.....	28
4.2.1	Coleta e preparo de amostras de colmos para análise.....	28
4.2.2	Pol da cana	28
4.2.3	Brix% caldo	29
4.2.4	Pureza aparente.....	29
4.2.5	Fibra da cana	29
4.2.6	Açúcar teórico recuperável (ATR)	30
4.2.7	Açúcares redutores na cana (ARcana).....	31
4.2.8	Produtividade da cana (TCH).....	31
4.2.9	Produtividade de açúcar por hectare (TAH).....	31
4.3	Análise Estatística	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, anualmente, vem batendo recordes de produção em açúcar, etanol e energia. Além da busca incansável do produtor por sucessivos ganhos de produtividade e expansão de área cultivada, é preciso enaltecer toda a cadeia de produtos de alta tecnologia disponível e serviços especializados que dão suporte ao setor sucroenergético. O conjunto desses fatores permite ao país a posição de destaque na liderança mundial nos campos da agricultura alimentar e energética, sendo a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) uma das protagonistas deste quadro de sucesso, uma vez que o Brasil se destaca como líder mundial nas agroindústrias do açúcar e do etanol. O Brasil atualmente é o líder mundial na produção de cana-de-açúcar, possuindo uma área cultivada de aproximadamente 8,84 milhões de hectares, com produção média de 713,2 milhões de toneladas e produtividade média de 85,65 quilos por hectare (Conab, 2024 a).

Para garantir a produção de açúcar e etanol é de fundamental importância o estímulo do acúmulo de sacarose armazenada nos colmos. Assim, quanto maior a capacidade de uma variedade em armazenar sacarose, em respostas às condições oferecidas pelo ambiente, maior é a possibilidade de se obter maiores rendimentos industriais. A cana-de-açúcar está sujeita a condições ambientais adversas, como extensos períodos de chuvas, que afetam o amadurecimento da cultura no campo. Em algumas áreas de produção, as condições climáticas favorecem o desenvolvimento vegetativo da planta em vez do acúmulo de sacarose, resultando em efeitos negativos no processo natural de amadurecimento (Caputo *et al.*, 2008; Leite *et al.*, 2009 a).

O manejo agrícola (que inclui métodos como a aplicação de maturadores de plantas) tem sido adotado para melhorar a qualidade tecnológica das matérias-primas destinadas à indústria. Os maturadores, também chamados de reguladores/inibidores vegetais, são compostos químicos que podem modificar a morfologia e a fisiologia das plantas (Silva; Caputo, 2012). Esses compostos são aplicados com o objetivo de inibir e/ou retardar o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar e induzir a translocação e armazenamento de açúcares, principalmente sacarose, que podem causar alterações qualitativas e quantitativas na produção (Leite; Crusciol, 2008 a). Os inibidores de crescimento induzem aumento no teor de sacarose e na produtividade, amadurecimento precoce. Eles também influenciam o nível de atividade das enzimas envolvidas na catalisação do acúmulo de sacarose nos colmos durante o processo de amadurecimento (Crusciol *et al.*, 2017). Esses produtos são utilizados como

ferramentas auxiliares no planejamento de colheita e manejo varietal (Caputo *et al.*, 2008).

Estudos conduzidos com o trinexapaque etílico, um modulador de crescimento, demonstraram que o mesmo reduz o nível de giberelina ativa, diminuindo a ação de promotores de crescimento, sem afetar, porém, o processo de fotossíntese e a integridade da gema apical, além de, promover o aumento no teor de sacarose e inibir o florescimento (Nascimento; Gheller, 1998). Adicionalmente, Resende *et al.* (2000) observaram que esse ativo atua no metabolismo da cana, com ação de alargar as paredes celulares, facilitando, assim, maior acúmulo de sacarose.

Hida *et al.* (2009) ressaltaram a importância da avaliação e acompanhamento do crescimento da cana para identificar o melhor momento de aplicação do produto visando não prejudicar o ganho em massa. A época de colheita após a aplicação é variável, sobretudo em função do produto aplicado. Assim, de acordo com Mutton (1993), o processo de maturação, do ponto de vista agroindustrial, é aquele estágio de desenvolvimento em que a cultura apresenta melhor produtividade qualitativa e quantitativa de açúcares ou como aquele cuja produtividade agroindustrial e o resultado econômico se encontram maximizados.

Nesse sentido, dentro do grupo das estrobilurinas, destaca-se a azoxistrobina, como um fungicida de amplo espectro de ação que propicia o controle das principais doenças de várias culturas. A toxicidade desses fungicidas advém da inibição da cadeia respiratória ao nível de complexo III, impedindo a cadeia bioquímica de transferência de elétrons no sítio da mitocôndria, interferindo na respiração dos fungos (Bartlett *et al.*, 2002). Alguns fungicidas do grupo das estrobilurinas são reconhecidos por apresentarem um efeito de promoção do crescimento em certas espécies de plantas, os quais resultam em maior eficiência no uso de água e nitrogênio, retenção de clorofila, atraso na senescência foliar (“efeito verde”), aumento na atividade antioxidante e aumento de produtividade (Shukla *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2023).

Na literatura constam dados que comprovam o efeito fisiológico da estrobilurina no cultivo de soja, que além do controle de doenças, principalmente a ferrugem asiática, causa alterações nesse cultivo que resultam no incremento da produtividade devido as maiores taxas de fotossíntese líquida (Demant; Maringoni, 2012), maior massa seca total, maior área foliar, maior teor de clorofila e maior atividade da enzima nitrato redutase, que favorece a redução da respiração e da síntese de etileno e minimiza as perdas por déficit hídrico (Fagan, 2007; Fagan *et al.*, 2010).

O aparecimento da ferrugem alaranjada da cana no Brasil, detectada pela primeira vez em 2009 no estado de São Paulo, impulsionou produtores e pesquisadores a avaliarem

fungicidas como uma alternativa de controle emergencial, enquanto possíveis variedades suscetíveis não fossem substituídas por outras com características agronômicas desejadas. Nesse sentido, fungicidas do grupo químico dos triazóis e das estrobilurinas estão entre os fungicidas utilizados em outros países. Alves (2016) relatou que o uso combinado dos fungicidas Azoxistrobina e Ciproconazol impediu a proliferação do fungo da ferrugem alaranjada, resultando em uma melhor e maior produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

A aplicação de fungicida com ingrediente ativo azoxistrobina tem sido alvo de estudos em várias culturas vegetais de interesse comercial devido ao efeito fisiológico positivo, principalmente no que se refere ao aumento de produtividade. Assim, pela literatura há relatos do efeito fisiológico de fungicidas para várias culturas, mas para cana-de-açúcar, visto que a aplicação dessa classe de produtos é recente, ainda faltam dados conclusivos.

Tendo em vista o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de acúmulo de sacarose nos colmos em desenvolvimento através da indução fisiológica em canavial em resposta ao uso do regulador vegetal trinexapaque etílico quando associado à azoxistrobina e ciproconazol, conhecida por alterar o metabolismo das plantas mesmo na ausência de patógenos, interferindo transitoriamente na respiração da planta, procurando assim identificar os efeitos dessa mistura quanto à síntese de sacarose.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivo de cana-de-açúcar no Brasil

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia, China, Tailândia, Paquistão e México. O país possui 404 usinas de açúcar, etanol e destilarias e aproximadamente 70.000 produtores desta matéria-prima. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, durante a safra 2023/24, 713,21,7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar foram produzidas no país, em uma área de colheita de 8,33 milhões de hectares. A região Centro-Sul foi responsável por 92% da produção nacional, com mais de 652,79 milhões de toneladas, enquanto as regiões Norte e Nordeste produziram 60,42 milhões de toneladas, o que correspondeu a 8% da produção (Conab, 2024 b).

Um crescimento significativo na produção de cana-de-açúcar no Brasil foi observado a partir do ano de 2005. Esse crescimento pode ser explicado pelo aumento da demanda por etanol com a adoção de veículos com tecnologia flex-fuel, que oferecem benefícios ambientais e socioeconômicos (Antunes *et al.*, 2019). Em 2008, os baixos preços do açúcar e do etanol, somados à crise financeira global, limitaram os investimentos e afetaram a renovação dos canaviais nas safras seguintes. Além dos efeitos negativos do mercado, secas sucessivas prejudicaram a produção de cana-de-açúcar brasileira e a agricultura como um todo. Reduções significativas na produtividade da cana-de-açúcar foram observadas especialmente após 2011. Além disso, a intensa implementação do plantio e colheita mecanizadas e a expansão da cultura para solos de baixa fertilidade, especialmente em áreas de pastagens degradadas, também impactaram negativamente a produtividade da cultura (Antunes *et al.*, 2019).

No ano-safra de 2023/34, a produtividade média da cana no Brasil foi de 76,13 t ha⁻¹, obtendo 134,6 kg t⁻¹ de açúcar total recuperável (ATR) médio, e uma produtividade média da cultura, em toneladas de ATR por hectare, de 95.967.702 t ha⁻¹ (Conab, 2024 b). O ATR representa a capacidade da cana-de-açúcar ser convertida em açúcar ou álcool. Esse parâmetro é usado para quantificar a produção de açúcar e etanol, além de ser a métrica mais usada no país para representar a qualidade da cana-de-açúcar (Consecana, 2006). A porcentagem de ATR alocada ao etanol ou açúcar varia principalmente de acordo com o mercado; na safra 2023/2024, 65,1% do ATR foi destinado à produção de etanol, enquanto 34,9% foram destinados à produção de açúcar (Conab, 2024 c).

A produção brasileira de etanol na safra 2023/24 foi de 29 bilhões de litros: 17 bilhões de litros de etanol hidratado e 12 bilhões de litros de etanol anidro. No Brasil, o percentual

obrigatório de etanol anidro adicionado na gasolina é de 25%. O volume de etanol exportado foi de 1,9 bilhão de litros, representando um aumento de 6,2% em relação à safra anterior. A desvalorização da moeda brasileira frente ao dólar americano e o aumento da oferta de combustíveis no país são os principais motivos desse crescimento. Conseqüentemente, o saldo entre exportações e importações de etanol apresentou um superávit de 238,57 milhões de litros, ou seja, US\$ 286,06 milhões em valor (Conab, 2024 c).

Além de ser empregada na fabricação de açúcar e etanol, a cana-de-açúcar no Brasil tem sido cada vez mais utilizada como fonte de energia em um sistema denominado cogeração. O país apresenta uma capacidade técnica para a cogeração de 146.000 GWh, considerando a plena utilização da biomassa disponível nos canaviais. Em 2024, a produção de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil, predominantemente proveniente do bagaço de cana-de-açúcar, apresentou crescimento significativo. No primeiro trimestre, a geração alcançou 2.588 GWh, representando um aumento de 8% em relação ao mesmo período de 2023, que registrou 2.395 GWh (UDOT, 2024). Além disso, a capacidade instalada de cogeração a partir de biomassa no país deve crescer em até 1,1 GW ao longo do ano, consolidando a biomassa como uma fonte importante na matriz energética brasileira (Bnamericas, 2024).

As plantações de cana-de-açúcar brasileiras também estão sujeitas a danos por estresse abiótico. As mudanças climáticas têm representado um problema significativo para a produção e produtividade da cana-de-açúcar nos últimos anos (MISRA *et al.*, 2020a, 2020b). Agentes estressores abióticos e bióticos que surgem repentina e recorrentemente têm um impacto significativo no rendimento da cana e na recuperação do açúcar. As condições de estresse hídrico geralmente resultam em uma perda de 50–70% no rendimento da cana-de-açúcar. Por exemplo, a perda de rendimento da cana-de-açúcar no Brasil devido ao estresse hídrico foi relatada como 6,3% em 2008 e 40% em 2010 (Ferreira *et al.*, 2017). Outros fatores que podem impactar negativamente a produtividade das plantações de cana-de-açúcar brasileiras são doenças e pragas.

Atualmente, a colheita da cana no Brasil é majoritariamente mecanizada. A proporção de colheita mecanizada aumentou de 24,4% no período de 2007-2008 para 88,4% em 2019-2020. Na região Centro-Sul, caracterizada por relevo mais propício à mecanização, a taxa de adoção da colheita mecanizada atingiu 94,2% na safra 2023/2024. Nas regiões Norte e Nordeste, a proporção de colheita mecanizada é de 25,3%; em Alagoas e Pernambuco, que representam mais de 60% da área cultivada na região, as taxas de adoção são de 22,7% e 2,5%, respectivamente. A limitada adoção da colheita mecanizada nessas regiões deve-se ao relevo

irregular em certas áreas de produção e à maior disponibilidade de mão de obra para a colheita manual (Conab, 2024 d).

Quanto à longevidade dos canaviais, o ciclo médio de colheita é o parâmetro utilizado no Brasil para avaliar o envelhecimento das plantações de cana-de-açúcar. Este índice, medido em anos, corresponde à média ponderada da área colhida em cada ciclo de corte em uma usina ou região específica. Um aumento no ciclo médio de corte indica canaviais mais antigos, enquanto uma diminuição sugere canaviais mais jovens. Durante a safra 2023/2024 na região Centro-Sul, o ciclo médio de corte foi de 3,85 anos, e a intensidade de renovação dos canaviais, que corresponde à taxa de preparo do restolho antigo e ao estabelecimento de novas plantações, expressa pela relação entre plantio e colheita, foi de 14,2%.

Nas regiões Norte e Nordeste, o ciclo médio de corte foi de 4,41 anos, indicando que os canaviais dessas áreas são mais antigos que os da região Centro-Sul. Por outro lado, a relação entre plantio e colheita atingiu 15,3%, demonstrando que a taxa de renovação dos canaviais superou a observada na região Centro-Sul. Ainda assim, a presença de canaviais mais antigos e as variações significativas na distribuição de chuvas explicam as menores produtividades nas regiões Norte e Nordeste em comparação à região Centro-Sul: na safra 2023/2024, a produtividade agrícola média foi de 60,87 toneladas por hectare nas regiões Norte e Nordeste, enquanto na região Centro-Sul alcançou 79,34 toneladas por hectare.

Além disso, a produção total de cana-de-açúcar na safra 2023/2024 foi estimada em 689,8 milhões de toneladas, representando um aumento em relação à safra anterior. A produção de açúcar atingiu um recorde histórico de 42,42 milhões de toneladas, um aumento de 25,7% em comparação às 33,75 milhões de toneladas produzidas na safra anterior (Conab, 2024 c). Esses dados refletem o avanço contínuo da mecanização e a importância da renovação dos canaviais para a produtividade do setor sucroenergético brasileiro.

Quando múltiplos estressores são ativados simultaneamente ou quando um único fator de estresse gera outros fatores de estresses, a produção e a produtividade são impactadas negativamente. Para superar os impactos do estresse abiótico e biótico na cana-de-açúcar, várias estratégias de manejo têm sido amplamente estudadas, e quando eficazes, aplicadas no campo.

2.2 Estratégias no manejo da cana-de-açúcar

Embora a tecnologia de processamento e a eficiência da extração possam afetar a produção de açúcar, o rendimento e a qualidade da cana-de-açúcar (caracterizados pelo teor de açúcar) dependem principalmente do manejo agrônomico, incluindo a aplicação de insumos

agrícolas, pesticidas e herbicidas, bioreguladores e maturadores de crescimento, irrigação, rotação de culturas, entre outras. Em primeiro lugar, o método mais comum é aumentar os insumos de nutrientes (Anas *et al.*, 2020). No entanto, as respostas ao manejo de nutrientes para rendimento e qualidade são afetadas por fatores inerentes ao ambiente de produção. O uso excessivo de fertilizantes químicos pode ter impactos adversos no meio ambiente, como acidificação do solo, emissões de gases de efeito estufa e eutrofização de corpos d'água (Sutton *et al.*, 2011). A irrigação inadequada pode levar a perda mais rápida de nutrientes e contribuir para poluição da água (Montesano *et al.*, 2015). Diferentes regiões variam em termos de quantidade e tempo de irrigação, tornando necessária a correspondência espacial e temporal (Liu *et al.*, 2022). Portanto, fertilizantes e irrigação no cultivo de cana-de-açúcar precisam levar em conta diferenças espaciais em várias regiões. É crucial prevenir os impactos adversos da fertilização e irrigação excessivas tanto no rendimento quanto na qualidade das safras de cana-de-açúcar (Xiao *et al.*, 2021).

Tendo em vista o declínio do rendimento da cana-de-açúcar, associada a condições climáticas variáveis e imprevisíveis, pesquisas focadas no uso de práticas combinadas de manejo de culturas, como utilização de variedades de alto desempenho, doses ideais de fertilizantes e a aplicação de biorreguladores e/ou reguladores de crescimento, têm sido intensivamente estudadas e aplicadas (Srivastava *et al.*, 2016). A melhoria na produção de cana-de-açúcar e no rendimento de açúcar em particular, depende das variedades de culturas (genótipos), ambientes de crescimento e práticas de manejo, que em primeira instância influenciam no rendimento da cana-de-açúcar e o teor de sacarose (Thorburn *et al.*, 2017). Conseqüentemente, o cultivo da cana-de-açúcar utiliza vários insumos agrícolas integrados ao sistema de produção, bem como novas tecnologias emergentes devido à pesquisa e aos avanços na tecnologia (Liu *et al.*, 2021). Estudos relataram que as variedades de cana-de-açúcar diferem em suas respostas às condições ambientais e várias aplicações de insumos agrícolas (Araus *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2020), especialmente em sua absorção e utilização de vários nutrientes (Liu *et al.*, 2021). Como resultado, o uso de variedades de cana-de-açúcar com alta adaptação, eficiência no uso de nutrientes, tornaram-se formas eficazes para aumentar a produtividade e o rendimento de açúcar, além de reduzir o uso de fertilizantes químicos.

Os esforços para melhorar a produção de cana-de-açúcar por meio da aplicação de biorreguladores vegetais também estão recebendo atenção devido ao seu amplo papel fisiológico e aos incrementos de rendimento sob diferentes condições (Zeng *et al.*, 2020). Os biorreguladores vegetais são compostos naturais ou sintéticos semelhantes a hormônios que são

capazes de aumentar os rendimentos e as qualidades nutricionais, alterar os padrões de crescimento, fornecer resistência a vários estresses e melhorar a produtividade quando aplicados em concentrações muito baixas nas plantas e solos (Kumar, 2020). Em comparação com outros insumos agroquímicos, os biorreguladores são necessários em quantidades menores e a relação custo-benefício é muito maior. Como resultado, os biorreguladores têm sido utilizados efetivamente em vários países para melhorar os rendimentos da cana-de-açúcar e o teor de açúcar (Nguyen *et al.*, 2019).

A maturação da cana-de-açúcar se dá após o período de intenso crescimento vegetativo dos colmos, sobreviventes do perfilhamento da touceira, sendo que o excesso de açúcar permanece armazenado na base de cada colmo. Quando as touceiras atingem altura igual ou superior a dois metros, é possível observar amarelecimento e consequente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que está sendo depositado açúcar nessa região (Galdiano, 2008 a).

As características de cada genótipo são os fatores que determinam o número de colmos por planta, bem como a estatura e o diâmetro dos colmos, o comprimento e a largura das folhas, arquitetura da parte aérea (Maule *et al.*, 2001). Contudo, a expressão dessas características é muito influenciada pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas. As características das variedades determinam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, além da influência das variações climáticas que prevalecem durante todo o desenvolvimento. Vários fatores interferem na produção e maturação da cultura da cana-de-açúcar, sendo os principais a temperatura, luz, disponibilidade de água e nutrientes, além do manejo da cultura e da variedade plantada (CESAR *et al.*, 1987). As relações entre alterações ambientais e as mudanças fisiológicas são frentes dos atuais esforços em pesquisa (Paul; Pellny, 2003).

2.3 (Maturadores químicos) Trinexapaque etílico

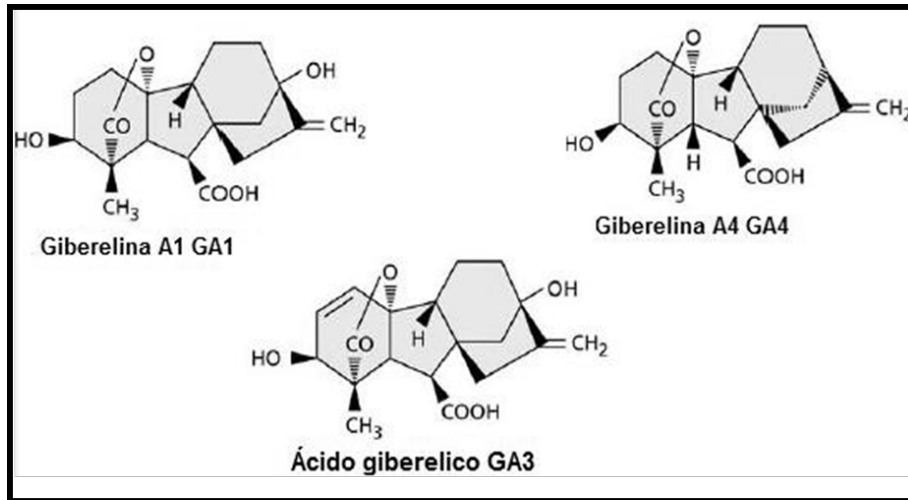
Reguladores de crescimento de plantas ou maturadores são compostos químicos naturais (fitohormônios) ou sintéticos usados para promover ou inibir o crescimento e desenvolvimento de plantas ou alterar fatores fisiológicos ou metabólicos específicos. Rademacher (2015) dividiu esses compostos de acordo com a ação bioquímica nos seguintes grupos: compostos relacionados a auxinas, giberelinas e inibidores da biossíntese de giberelina, citocininas, ácido abscísico, compostos que afetam o estado do etileno, compostos relacionados ao ácido jasmônico e maturadores fitotóxicos “atípicos”. Adicionalmente, eles são divididos em cinco classes com base em seu método de inibição ou supressão do crescimento, os quais: inibidor do

alongamento celular na via tardia da biossíntese da giberelina (classe A), inibidor do alongamento celular na via inicial da biossíntese da giberelina (classe B), inibidor da divisão celular (classe C), herbicidas com propriedades reguladoras do crescimento (classe D) e fitohormônios (classe E).

No final da década de 1990, um novo regulador de crescimento foi lançado. Em 1999, este produto (trinexapaque etílico) foi registrado na Holanda para uso em trigo de inverno. O trinexapaque etílico, ácido 4-(ciclopropil-hidroxi metileno)-3,5-dioxo-ciclohexanocarboxílico (TE) é um regulador de crescimento vegetal pertencente ao grupo químico das acilciclohexanodionas (classe A), frequentemente usado como maturador na cana-de-açúcar. Este composto expande o diâmetro das paredes celulares que atuam nos estágios finais da biossíntese da giberelina (Faria *et al.*, 2015; Simmons *et al.*, 2017). Dessa forma diminui o ritmo de crescimento dos colmos e o crescimento das folhas de forma muito mais rápida e consistentemente do que os processos naturais, como temperaturas reduzidas ou limitação da umidade do solo.

A nível molecular, o TE atua na redução da conversão da giberelina inativa (GA_{20}) em giberelina bioativa (GA_1) devido à competição entre o químico e o 2-oxogluterato pelo co-substrato dioxigenase que é dependente Fe^{+2} /ascorbato, resultando na inibição da hidroxilação da posição 3β da molécula. Entretanto, esse produto também inibe a hidroxilação na posição 2β , impedindo que a giberelina bioativa (GA_1), já presente na planta, seja convertida em na forma da giberelina GA_8 , uma conformação bio-inativa da molécula. No processo, a GA_{20} se acumula, enquanto a supressão dos níveis de GA_1 leva à inibição do alongamento do internódeo, o que reduz a demanda de sacarose no reservatório de crescimento com uma aceleração concomitante do armazenamento de sacarose dentro do colmo. (Hedden, 2016). Na Figura 1 são demonstradas as estruturas químicas de algumas giberelinas.

Figura 1 – Estrutura de algumas Giberelinas.



Fonte: (Adaptado de Aguilar, 2017).

Zhao *et al.* (2023) mostraram recentemente os efeitos da aplicação de Trinexapaque etílico no crescimento, fisiologia e componentes de rendimento da cana-de-açúcar durante a fase de crescimento e para identificar as possíveis variações na resposta da planta entre diferentes cultivares de cana-de-açúcar. Os resultados indicaram que ocorreram interações significativas entre os cultivar e o TE nos parâmetros de teor de clorofila foliar, peso médio do colmo, rendimento da cana, açúcar recuperável teórico (ATR) e rendimento de sacarose. Da mesma forma, Ayele *et al.* (2023) examinaram as respostas de quatro variedades de cana-de-açúcar a cinco tratamentos (incluindo TE). Os resultados indicaram o tratamento com TE influenciou na altura do colmo, no peso do colmo, no teor de sacarose (%) e no rendimento de sacarose (t ha⁻¹). Após 28 dias, a aplicação sequencial do TE seguida de fluazifop-p-butil resultou em melhoria no teor e na produção de sacarose, com um aumento de 2,64% e 2,15 t ha⁻¹, respectivamente.

2.4 Fungicidas no cultivo da cana-de-açúcar

Fungos patogênicos representam aproximadamente 30% das perdas na produção agrícola em âmbito global. Aproximadamente 21 bilhões de dólares é a estimativa de perdas anuais atribuídas a esses organismos somente nos Estados Unidos. A gestão de pragas e enfermidades é de suma importância para a manutenção da produtividade agrícola, evitando expansões desnecessárias das áreas destinadas ao cultivo (Chaulagain *et al.*, 2019).

Com o passar dos anos, as companhias do setor de agroquímicos têm promovido inovações na proteção de plantas, criando fungicidas que são progressivamente mais eficazes e menos prejudiciais ao meio ambiente. Esses produtos funcionam ao inibir vias bioquímicas específicas de bactérias e fungos fitopatogênicos, podendo ser classificados em dois tipos: sistêmicos ou não sistêmicos (van Heerden *et al.*, 2015).

Os fungicidas sistêmicos são assim categorizados devido à sua habilidade de penetrar e translocar no interior da planta. As ações fundamentais dessa categoria consistem na proteção e imunização da planta submetida ao tratamento com o fungicida. Os fungicidas sistêmicos apresentam efeito erradicante e supressor da infecção, isto é, atuam suprimindo o estabelecimento da infecção causada por patógenos nos tecidos do hospedeiro (Milindi *et al.*, 2024).

Os fungicidas não sistêmicos ou também chamados de fungicidas de contato, são efetivos somente se aplicados antes da ocorrência da penetração do patógeno no hospedeiro, impedindo ou reduzindo as chances de ocorrência da doença. Quando são aplicados à superfície dos órgãos vegetais, agem como uma barreira tóxica, prevenindo a penetração de fungos pela inibição da germinação dos esporos e do tubo germinativo.

As doenças que causam mais prejuízos econômicos na cultura da cana-de-açúcar no Brasil são: carvão de cana (*Ustilago scitaminea*); podridão vermelha (*Colletotrichum falcatum*); mancha anelar (*Leptosphaeria sacchari*); ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*) e Ferrugem marrom: (*Puccinia melanocephala*). No cultivo de cana-de-açúcar, os fungicidas mais utilizados são os pertencentes ao grupo das estrubilurinas + triazóis, que possuem dois mecanismos de ação distintos com ação translaminar (de cima para baixo da folha) e sistêmica (da base para o ápice da folha). Esta associação, além de estar relacionada à alta performance de controle, pois atua em várias fases do desenvolvimento do fungo, é também uma estratégia de prevenção ao surgimento de fungos resistentes a fungicidas.

Os fungicidas do grupo das estrobilurinas inibem a respiração mitocondrial dos fungos, interrompendo assim a produção de energia no fungo e resultando em sua morte. A Azoxistrobina (metil (E)-2-{2-[6-(2-cianofenoxila) pirimidin-4-yloxi] fenil} -3-metoxipropenoato) é um fungicida do grupo das estrobilurinas utilizado para controlar uma ampla gama de doenças fúngicas (YAO *et al.*, 2018). A toxicidade desses fungicidas (do grupo das estrobilurinas) advém da inibição da cadeia respiratória no nível do complexo III, impedindo a cadeia bioquímica de transferência de elétrons no sítio mitocondrial e interferindo na respiração fúngica (Moreira *et al.*, 2018).

Alguns fungicidas do grupo das estrobilurinas podem ajudar algumas espécies de plantas a crescerem mais rápido. Isso pode levar a um melhor uso de água e nitrogênio, maior retenção de clorofila, senescência foliar mais tardia (o "efeito verde"), maior atividade antioxidante e maior rendimento na produção (Alves *et al.*, 2018). A aplicação de uma mistura de fungicidas tem sido adotada em alguns países em cultivares de cana-de-açúcar, para o manejo de algumas doenças específicas (Reis *et al.*, 2023).

Por outro lado, acredita-se que os fungicidas triazóis inibem enzimas utilizadas na produção de membranas celulares e paredes celulares, resultando em crescimento anormal dos fungos e morte. O Ciproconazol (2-(4-cloro-fenil)-3-ciclopropil-1-(1H-1,2,4-triazol-1-il)butan-2-ol) é um fungicida da classe do triazol que é amplamente utilizado para proteger várias culturas (Thomidis, Exadaktylou, 2012).

O manejo integrado de doenças constitui uma ferramenta essencial para o controle das principais enfermidades que afetam a cultura, abrangendo a tomada de decisões quanto à aplicação de fungicidas no momento apropriado e na dose/resposta adequada a cada circunstância ou cultivar.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos do estímulo do maturador trinexapaque etílico, da mistura de fungicidas azoxistrobina e ciproconazol e da mistura do maturador com os fungicidas quando aplicados em um canavial.

3.2 Objetivos específicos

1. Avaliar os parâmetros de diâmetro, altura, número de colmos e peso dos colmos aos 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 63 dias após a aplicação dos condicionadores de maturação.
2. Avaliar os efeitos dos indutores de maturação no processo da maturação da cana-de-açúcar e seus efeitos quanto à síntese de sacarose.
3. Avaliar os parâmetros tecnológicos de Brix%, Pol%, Fibra%, Pureza%, ATR e ARC aos 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 63 dias após a aplicação dos condicionadores de maturação.
4. Determinar os efeitos dos indutores de maturação na produtividade da cana-de-açúcar (TCH) aos 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 63 dias após a aplicação dos mesmos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área de produção de cana formada com a variedade RB966928 em primeiro corte, a partir do décimo primeiro mês de idade vegetativa situada na zona rural do distrito de Miraporanga, município de Uberlândia/MG. O estudo foi realizado por um período total de 63 dias, começando em 29 de março de 2023, com a aplicação dos indutores da maturação da cana, finalizando em 31 de maio de 2023, o último dia de avaliação após a aplicação dos indutores da maturação da cana. As parcelas experimentais foram compostas de seis linhas de 10 metros, conforme observado na Figura 2 abaixo. As quatro fileiras centrais foram utilizadas para avaliações e amostragens.

Figura 2 – Vista aérea das parcelas experimentais avaliadas no projeto.



Fonte: Do próprio autor.

Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 10x4, totalizando 40 tratamentos. Foram utilizadas cinco repetições por tratamento, totalizando 200 parcelas amostrais ou unidades experimentais. O primeiro fator foi composto pelos seguintes níveis: DAA - 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 63 dias após a pulverização dos produtos. O segundo fator foi composto por quatro níveis, representados por produtos indutores da maturação da cana-de-açúcar – IMC – Controle; Maturador; Fungicida; e Maturador com Fungicida. Foi avaliado o efeito dos produtos nas seguintes situações: Trinexapaque 0,0 L/ha e Azoxistrobina com Ciproconazol 0,0 L/ha; Trinexapaque 0,8 L/ha e Azoxistrobina com Ciproconazol 0,0 L/ha; Trinexapaque 0,0 L/ha e Azoxistrobina com Ciproconazol 0,5 L/ha; Trinexapaque 0,8 L/ha e Azoxistrobina com Ciproconazol 0,5 L/ha. (Tabela 1). Os químicos foram cedidos pela empresa Syngenta®, unidade de Uberlândia, MG.

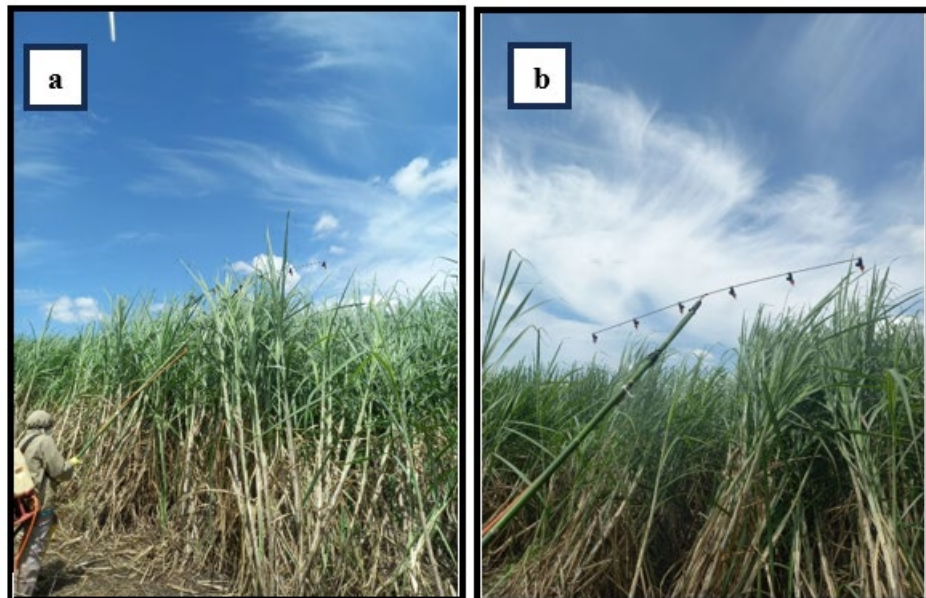
Tabela 1 – Descrição dos indutores da maturação da cana aplicados no experimento.

IMC	Descrição	
	Maturador	Fungicida

Controle	0,0 L/ha	0,0 L/ha
Maturador	0,8 L/ha	0,0 L/ha
Fungicida	0,0 L/ha	0,5 L/ha
Maturador e Fungicida	0,8 L/ha	0,5 L/ha

Fonte: Do próprio autor.

A aplicação dos IMC foi realizada com um pulverizador costal motorizado, barra metálica com 6 pontas de pulverização elevada por haste, e volume de calda de 100 litros por hectare (Figura 3). Após a implementação do experimento, foram observados aspectos relacionados à uniformidade, saúde e homogeneidade das plantas.

Figura 3 – A) Aplicação dos IMC via pulverizador costal e B) Barra metálica de 6 pontas.

Fonte: Do próprio autor.

Nos dias 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 63 após a aplicação (DAA) dos IMC, foram realizadas avaliações quanto ao número total de perfilhos (m), altura da planta (cm) e diâmetro do colmo (cm), peso do colmo, produtividade agrícola e análise tecnológica. A coleta dos dados foi disposta em arranjo fatorial 10x4, composta pelos períodos de avaliação (DAA), sendo 10 dias de avaliação e pelos IMC, sendo 4 IMC. Todas as parcelas foram avaliadas nos respectivos dias após a aplicação dos IMC, com o objetivo de analisar os efeitos desses indutores em cada

variável, os efeitos nos diferentes períodos de avaliação e a possível interação entre os dois fatores (IMC × DAA).

As avaliações foram realizadas em 4 pontos por parcelas nas 4 (quatro) linhas centrais, respeitando bordas de 20m em relação a carreadores.

4.1 Avaliações biométricas

Para todas as avaliações biométricas foram realizadas amostragens em 4 pontos por parcela, os quais estavam dispostos nas 4 linhas centrais de cada parcela, resultando em médias de valores por parcela. Para contagem do número de colmos, realizou-se a contagem manual dentro de 1 metro linear. Para a avaliação da altura das plantas (cm), foi considerada o comprimento obtido desde o nível do solo até a altura da última aurícula visível. Para essa avaliação utilizou-se uma trena. O diâmetro do colmo foi medido com auxílio de um paquímetro, sendo a medida observada a 1 metro do solo. E por fim, a pesagem dos 8 colmos por parcela (Figura 4) foi realizada com auxílio de uma balança eletrônica seguindo os devidos cuidados, por exemplo, observando se o desponte e a despalha foram bem feitos, e quando os colmos eram muito compridos ou tortos, os mesmos foram cortados ao meio. Todos os procedimentos de amostragem e análise foram realizados conforme Landell e Bressiani (2008).

Figura 4 – Colmos de cana separados para realizar a pesagem.



Fonte: Do próprio autor.

4.2 Parâmetros de qualidade tecnológica e componentes de rendimento

4.2.1 Coleta e preparo de amostras de colmos para análise

Na coleta e preparo dos colmos para as análises tecnológicas, os seguintes procedimentos foram realizados: após a aplicação realizou-se a coleta manual dos colmos em uma linha de 1 metro linear na linha de cana que foi destinada a mensuração da touceira, os quais foram despontados na altura da gema apical (ponto de quebra) e levados ao Laboratório de Análises da usina. O processamento realizado seguiu a metodologia estabelecida pelo Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS). Após a desintegração e homogeneização dos colmos, amostras de 500 g foi submetida à prensa hidráulica, de acordo com o método de Tanimoto (1964), resultando no caldo extraído, que foi utilizado para as determinações químico-tecnológicas conforme descrito na literatura (Consecana, 2006).

4.2.2 Pol da cana

A Pol% cana (PC) representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares. Para o caldo de cana madura o teor de glicose e frutose é geralmente baixo, menor do que 0,5%, comparado ao teor de sacarose, que pode estar acima de 16 %, na média da safra. A sacarose, um dissacarídeo, é o principal parâmetro de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar; refere-se ao açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação (Fernandes, 2003).

O Pol% cana (PC): foi calculada através da seguinte expressão:

$$PC = S \times (1 - 0,01 F) \times C, \text{ onde:}$$

S = Pol do Caldo extraído

F = Fibra industrial % cana

C = fator de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto.

A pol do caldo (S) (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo) foi calculada pela equação seguinte: $S = LPb (0,2605 - 0,0009882 \times B)$.

A transformação da leitura sacarimétrica com a mistura clarificante, à base de alumínio, para a leitura equivalente em subacetato de chumbo ou (octapol), foi estimada pela equação:

$$LPb = 1,00621 \times LAI + 0,05117, \text{ onde:}$$

LPb = leitura sacarimétrica equivalente à de subacetato de chumbo;

LAI = leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificante à base de alumínio.

Assim sendo, a equação completa para o cálculo da pol da cana (S) passa a ser a seguinte:

$$S = (1,00621 \times LAI + 0,05117) \times (0,2605 - 0,0009882 \times B), \text{ onde:}$$

B = Brix do caldo

4.2.3 Brix% caldo

Brix (símbolo °Bx) é uma escala numérica que mede a quantidade de sólidos solúveis contidos no caldo, que auxilia na determinação da maturação da cana-de-açúcar. Por essa ocasião, o Brix% caldo foi determinado por refratometria utilizando um refratômetro de bancada tipo ABBE a 20°C (Schneider, 1979).

4.2.4 Pureza aparente

A pureza reflete a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis, sendo denominada “pureza real”, entretanto quando esta determinação é realizada numa solução açucarada impura, diz-se “pureza aparente”. A pureza expressa quantos por cento (%) dos sólidos solúveis (°Brix) são representados pela sacarose (pol) (Fernandes, 2003).

A Pureza aparente da cana (%): o coeficiente de pureza aparente da cana, segundo Fernandes (2003), foi calculado pela relação:

$$\text{Pureza aparente \% da cana} = \text{Pol\% cana} \times 100 \text{ Brix\% cana}$$

4.2.5 Fibra da cana

A fibra é a matéria insolúvel em água contida na cana. No colmo de cana, as fibras do parênquima são de estrutura mais frágil e fina, e formam as células isodiamétricas de estocagem do caldo de alto teor de sacarose (Fernandes, 2003). A fibra é um dos principais parâmetros de qualidade da cana, não somente pelo seu poder energético, mas, sobretudo por transformar parâmetros de qualidade. O cálculo do teor de fibra foi estimado indiretamente, com correlações a partir do peso do bagaço úmido da amostra, determinado pelo método da prensa hidráulica, conforme determinado no Ato 13/83, de 21/04/1983 – IAA, citado por Mutton (1984) e atualizações semestrais do CONSECANA.

$$F = 0,08 \times \text{PBU} + 0,876, \text{ onde:}$$

F é a Fibra cana;

PBU refere-se ao peso do bagaço úmido da prensa, em gramas.

4.2.6 Açúcar teórico recuperável (ATR)

O ATR da cana é o principal indicador da qualidade da cana. O ATR é representado pela soma total dos açúcares contidos na cana-de-açúcar (Glicose, Frutose e Sacarose) e que são, efetivamente, aproveitados no processo industrial para a produção de açúcar e álcool. Os principais parâmetros que definem a quantidade de ATR contida na cana-de-açúcar são a pureza do caldo, o teor de fibra e a pol da cana. O ATR tem também grande importância para a formação do preço da cana no mercado. A fim de realizar o pagamento aos fornecedores, a agroindústria, por exemplo, analisa a cana antes da sua recepção, visando avaliar a qualidade, e, com base nessa informação, estabelece o valor a ser pago.

Diante do exposto, o ATR foi calculado pelo PCTS (Pagamento de Cana por Teor de Sacarose), aprovado pelo Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (2006) utilizando a seguinte equação:

$ATR (kg/ton) = 10 \times PC \times 1,0526 \times (1 - PI/100) + 10 \times AR \times (1 - PI/100)$, sendo AR% cana calculado pela seguinte fórmula:

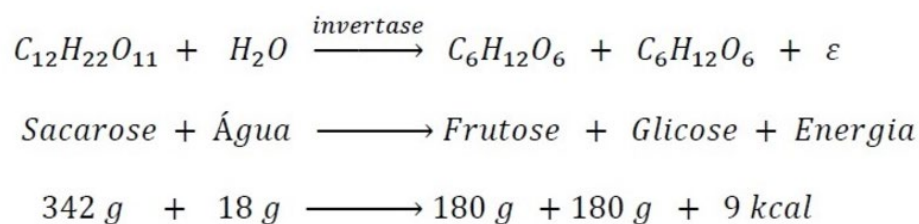
$AR\% \text{ cana} = [9,9408 - (0,1049 \times \text{Pureza caldo})] \times [1 - (0,01 \times \text{Fibra\% cana})] \times (1,0313 - 0,00575 \times \text{Fibra\% cana})$, onde:

PC = pol da cana;

PI = a perda industrial média dos açúcares contidos na cana-de-açúcar em função dos processos industriais e tecnológicos utilizados no Estado de São Paulo;

AR = açúcares redutores, que determina a quantidade conjunta de frutose e glicose contida na cana de açúcar, também conhecido por ARC;

1,0526 = fator de cálculo estequiométrico de transformação de sacarose em açúcares redutores, conforme a equação química e o cálculo estequiométrico abaixo:



4.2.7 Açúcares redutores na cana (ARcana)

Açúcares redutores presentes na cana e são possíveis de serem transformados em etanol, referem-se ao termo utilizado para designar os açúcares (monossacarídeos), glicose e frutose, principalmente. Os açúcares redutores são produtos precursores de cor no processo industrial, isto é, participam de reações que aumentam a cor do açúcar, depreciando a qualidade do produto. Durante a maturação da cana-de-açúcar, à medida que o teor de sacarose se eleva os açúcares redutores decrescem de aproximadamente 2,0% para valores abaixo de 0,5%, entre março/abril e setembro/outubro no Hemisfério Sul, podendo chegar a 0,2%. Com isso, a análise do teor de açúcares redutores é importante, de forma a inspecionar e avaliar a maturação especialmente nos primeiros meses de colheita. Esse parâmetro é determinado pela Técnica de Somogy, adaptado por Nelson (1944) e calculado por: $AR_{cana} = AR \times (1 - 0,01 \times F) \times C$.

4.2.8 Produtividade da cana (TCH)

O rendimento estimado de cana, toneladas de cana por hectare ($t\ ha^{-1}$), foi calculado com base no diâmetro médio dos colmos (d) (cm), no número de colmos por metro linear (C), na altura média dos colmos (h) (cm) e no espaçamento entre os sulcos (E), neste caso, 1,5 metros. Considerando a densidade do colmo igual a 1, a seguinte equação foi utilizada para estimar a produtividade:

$$TCH = (d^2 \times C \times h \times 0,007854)/E$$

4.2.9 Produtividade de açúcar por hectare (TAH)

O resultado de TAH ou também conhecido por toneladas de ATR por hectare foi obtido multiplicando o TCH (toneladas de cana por hectare) pelo índice de maturação percentual de ATR (açúcar total recuperável), de acordo com a seguinte equação:

$$TAH = TCH \times ATR/1000$$

4.3 Análise Estatística

Os dados foram submetidos a normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk, a 5% de significância, e a homogeneidade de variâncias dos erros foi verificada pelo teste de O'Neill

e Mathews, também a 5% de significância. Em cada conjunto de dados, para cada variável, foram testadas as pressuposições de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (teste de Oneill e Mathews), a 5% de significância.

Quando as pressuposições foram atendidas, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, quando necessário, ao teste de Tukey a 5%. Quando as pressuposições não foram atendidas, foi feita uma transformação Box-Cox no conjunto de dados e, em seguida, cada uma das pressuposições foram verificadas novamente. Quando foi verificado que os dados seguiam as suposições após a transformação, então foi realizada a ANOVA e, em seguida, a aplicação do teste de Tukey foi feito quando necessário, utilizando os softwares Agroestat® e IBM SPSS Statistics.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a análise de variância e o teste F para os parâmetros biométricos analisados para os fatores dias após aplicação dos IMC.

Tabela 2 – Análise de variância e o teste F para os parâmetros de diâmetro do colmo (cm), altura (cm), número de colmos por metro linear e peso médio para 1 cana de acordo com os IMC aplicados e os dias após a aplicação.

	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Número de colmos (/m linear)	Peso médio (kg)
IMC				
C	2,45 ^a	263,80 ^a	132,61 ^a	1,26 ^a
M	2,48 ^a	242,44 ^c	135,94 ^a	1,18 ^a
F	2,49 ^a	248,36 ^b	125,33 ^a	1,23 ^a
MF	2,50 ^a	244,52 ^{bc}	136,07 ^a	1,22 ^a
DMS (5%)	0,06	4,80	13,42	0,09
Dias após aplicação (DAA)				
0	2,38 ^c	231,80 ^f	129,45 ^b	1,13 ^a
7	2,44 ^{abc}	238,50 ^{ef}	132,50 ^b	1,14 ^a
14	2,40 ^{bc}	241,20 ^{de}	126,50 ^b	1,19 ^a
21	2,43 ^{abc}	244,80 ^{cde}	130,05 ^b	1,20 ^a
28	2,46 ^{abc}	247,20 ^{cde}	123,65 ^b	1,28 ^a
35	2,52 ^{ab}	249,15 ^{bcd}	135,55 ^b	1,22 ^a
42	2,53 ^a	251,10 ^{abc}	127,00 ^b	1,29 ^a
49	2,53 ^a	252,80 ^{abc}	167,80 ^a	1,24 ^a
56	2,52 ^{ab}	258,60 ^a	127,27 ^b	1,27 ^a
63	2,55 ^a	256,80 ^{ab}	125,10 ^b	1,26 ^a
DMS (5%)	0,12	9,39	26,24	0,17
Teste F				
Blocos	12,59 ^{**}	2,51 [*]	1,69 ^{ns}	0,92 ^{ns}
IMC	1,57 ^{ns}	13,70 ^{**}	1,90 ^{ns}	2,22 ^{ns}
Dias após aplicação (DAA)	4,88 ^{**}	16,28 ^{**}	4,98 ^{**}	2,15 [*]
Interação (IMC x DAA)	0,60 ^{ns}	1,84 [*]	0,25 ^{ns}	1,14 ^{ns}
Média	2,48	247,20	132,49	1,22
CV (%)	5,00	3,74	19,51	13,60

Nota: C = controle; M = Maturador; F = Fungicida; MF = Maturador + Fungicida. ** significativo $p < 0,01$; *significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo; CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si. **Fonte:** Do próprio autor.

Os coeficientes de variação obtidos variaram de baixo a médio, indicando que o delineamento experimental utilizado foi satisfatório para controlar a variação ambiental e permitir a aquisição de dados confiáveis. (Fritsche-Neto *et al.*, 2012). Observa-se que os valores dos coeficientes de variação estão abaixo ou próximos de 20%. Isso sugere boa precisão e boa

homogeneidade dos dados, o que está de acordo com a literatura (Ferreira *et al.*, 2018).

Os IMC propostos não diferiram estatisticamente em relação aos parâmetros de diâmetro, número de colmos e peso médio dos colmos. Porém, observou-se que o processo de crescimento foi retardado pelos seguintes IMC: M, MF e F, nos quais o maturador apresentou as menores médias. Os maturadores atrasam o processo de crescimento das plantas, não afetando, neste caso, o diâmetro, o número e o peso dos colmos. O componente ativo do trinepaxequ etílico pode inibir a biossíntese do ácido giberélico, consequentemente reduzindo o crescimento longitudinal dos colmos e o risco de acamamento (Zhao *et al.*, 2023). O retorno à taxa normal de crescimento da cultura depende tanto da dose aplicada quanto das condições ambientais. A análise do fator 'dias após a aplicação' indicou uma resposta positiva, evidenciada pela retomada do crescimento na altura das plantas nos dias subsequentes à pulverização, corroborando com os dados obtidos por van Heerden (2014).

A altura do colmo da cana-de-açúcar foi influenciada pela interação entre os fatores. A Tabela 3 apresenta os dados relativos aos desdobramentos da interação entre os fatores.

Tabela 3 – Valores médios dos desdobramentos obtidos pela análise de variância das interações significativas entre os IMC e as diferentes épocas de amostragem para o parâmetro de altura (cm).

IMC	DIAS APÓS APLICAÇÃO									
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63
C	229,40fA	235,20efA	244,60defA	249,80cdeA	252,00bcdeA	259,00abcdA	263,80abcA	269,00abA	276,60aA	255,20bcdA
M	235,60aA	236,20aA	239,20aA	238,60aA	244,20aA	243,60aB	243,60aB	245,20aB	247,00aB	251,20aA
F	230,00dA	243,20bcdA	239,40cdA	247,60abcdA	249,60abcA	249,20abcAB	251,40abcAB	251,20abcB	258,80abB	263,20aA
MF	232,20bA	239,40abA	241,60abA	243,20abA	243,00abA	244,80abAB	245,60abB	245,80abB	252,00aB	257,60aA
	DMS (5%) coluna:15,19						DMS (5%) linha:18,78			

Nota: C = controle; M = Maturador; F = Fungicida; MF = Maturador+ Fungicida; DMS = diferença mínima significativa. Letras minúsculas comparam as médias nas linhas; Letras maiúsculas e em negrito comparam as médias nas colunas; Letras iguais não diferem uma das outras pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Do próprio autor.

As médias dos IMC apresentaram contraste significativo apenas após 35 DAA. Aos 35 DAA, a cana-de-açúcar maturada com trinepaxeque etílico teve um IMC 6% menor em comparação às médias do controle. Aos 42 DAA, os tratamentos com trinepaxeque etílico (M) e com sua mistura com fungicidas (MF) apresentaram alturas médias inferiores às do controle. Já aos 49 e 56 DAA, as alturas médias dos tratamentos M, F e MF foram semelhantes entre si, diferenciando-se apenas das médias do controle. Esses resultados indicam que o trinepaxeque etílico, bem como a aplicação isolada de fungicidas (F) e sua mistura com trinepaxeque etílico (MF), retardaram o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar por pelo menos 56 DAA.

Quanto aos dias de amostragem, o crescimento da cana-de-açúcar foi inibido quando tratada com o maturador (M), pois as médias de crescimento não diferiram durante os dias de amostragem, corroborando os resultados obtidos nas avaliações biométricas deste estudo e com os resultados obtidos por van Heerden *et al.* (2015) e Zhao *et al.* (2023). As alturas médias da cana-de-açúcar maturada com o tratamento MF aumentaram em 11% quando a colheita foi adiada por nove semanas, 56 a 63 DAA, para o fungicida (F), observou-se um aumento de 14% quando a colheita foi adiada por dez semanas, a 63 DAA. A maior média de altura para o grupo controle foi encontrada aos 56 DAA, representando um aumento de 21% em comparação com 0 DAA.

Esses resultados têm implicações práticas importantes para a gestão agrícola. O uso de trinepaxeque etílico, isolado ou em mistura com fungicidas, pode ser uma estratégia eficaz para retardar o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar, promovendo maior concentração de açúcares e melhorando a maturação. Isso é particularmente relevante em períodos de manejo intensivo, onde a sincronização da colheita e o controle do crescimento são essenciais para maximizar a produtividade e a qualidade da safra.

Na Tabela 4 constam os dados obtidos para as principais análises tecnológicas e para a produtividade da cana em toneladas de colmos por hectare e toneladas de ATR por hectare.

Tabela 4 – Valores médios obtidos por meio da análise de variância e do teste F na avaliação dos efeitos dos IMC e das épocas de amostragem nos parâmetros de Brix%, Fibra%, Pol%, ATR (kg t⁻¹), ARcana, produtividade (TCH) (t ha⁻¹) e toneladas de ATR por hectare (TAH) (t de ATR ha⁻¹).

	TAH (t ATR ha ⁻¹)	TCH (t ha ⁻¹)	ARcana	ATR (kg t ⁻¹)	POL (%)	Pureza (%)	Fibra (%)	Brix (%)
IMC								
C	12,85 ^a	104,59 ^a	0,72 ^a	121,60 ^b	11,94 ^b	81,80 ^b	11,00 ^b	16,90 ^b
M	13,75 ^a	106,04 ^a	0,68 ^b	128,02 ^a	12,64 ^a	82,97 ^a	11,13 ^{ab}	17,63 ^a
F	13,39 ^a	102,77 ^a	0,68 ^b	128,53 ^a	12,70 ^a	83,05 ^a	11,16 ^{ab}	17,71 ^a
MF	13,91 ^a	108,93 ^a	0,70 ^b	126,30 ^a	12,43 ^a	82,55 ^{ab}	11,23 ^a	17,43 ^a
DMS (5%)	1,55	11,54	0,04	3,99	0,45	1,16	0,22	0,41
(DAA)								
0	9,44 ^d	89,14 ^c	0,90 ^a	105,94 ^e	10,13 ^e	75,52 ^e	11,12 ^{cd}	15,59 ^{ef}
7	11,10 ^d	104,08 ^{bc}	0,82 ^{ab}	107,32 ^e	10,36 ^e	78,56 ^d	10,63 ^{ef}	15,16 ^f
14	9,89 ^d	91,88 ^{bc}	0,81 ^b	107,35 ^e	10,38 ^e	79,16 ^d	10,28 ^f	15,00 ^f
21	11,40 ^d	98,51 ^{bc}	0,74 ^{bc}	115,71 ^d	11,31 ^d	81,06 ^{cd}	10,77 ^{de}	16,12 ^{de}
28	11,62 ^{cd}	95,44 ^{bc}	0,69 ^c	121,10 ^d	11,86 ^d	82,65 ^c	11,07 ^{cd}	16,66 ^d
35	14,61 ^{bc}	112,63 ^b	0,66 ^{cd}	129,64 ^c	12,84 ^c	83,80 ^{bc}	11,32 ^{abc}	17,87 ^c
42	14,60 ^{bc}	107,18 ^{bc}	0,59 ^{de}	136,59 ^{bc}	13,62 ^{bc}	85,97 ^{ab}	11,59 ^{ab}	18,56 ^c
49	20,05 ^a	139,38 ^a	0,59 ^{de}	143,58 ^{ab}	14,34 ^{ab}	85,85 ^{ab}	11,71 ^a	19,61 ^{ab}
56	16,21 ^b	108,65 ^{bc}	0,56 ^e	149,18 ^a	14,94 ^a	86,44 ^{ab}	11,64 ^a	20,28 ^a
63	15,80 ^b	108,88 ^{bc}	0,56 ^e	144,69 ^{ab}	14,47 ^{ab}	86,90 ^a	11,18 ^{bcd}	19,36 ^b
DMS (5%)	3,03	22,55	0,09	7,80	0,88	3,04	0,42	0,80
Teste F								
Bloco	4,74 ^{**}	4,61 ^{**}	1,37 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,16 ^{ns}	4,49 ^{**}	1,56 ^{ns}
IMC	1,23 ^{ns}	0,69 ^{ns}	2,02 ^{ns}	8,43 ^{**}	7,80 ^{**}	1,84 [*]	2,49 [*]	10,77 ^{**}
Dias após a aplicação (DAA)	25,28 ^{**}	8,24 ^{**}	36,95 ^{**}	95,94 ^{**}	91,44 ^{**}	34,11 ^{**}	24,79 ^{**}	124,71 ^{**}
Interação (IMC x DAA)	0,37 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,40 ^{ns}
Média	13,47	105,58	0,69	126,11	12,43	82,59	11,13	17,42
CV (%)	22,14	21,04	12,68	6,09	6,99	3,62	3,76	4,42

Nota: C = controle; M = Maturador; F = Fungicida; MF = Maturador + Fungicida, ** significativo p<0,01; *significativo 0,01<p<0,05; ns: não significativo; CV = coeficiente de variação, médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si, Fonte: Do próprio autor.

Os valores de Brix^o apresentaram efeito significativo para M, F e MF, contrastando seus respectivos valores com os valores obtidos para o controle, entretanto, não diferiram entre si. Os IMC supracitados proporcionaram um aumento de aproximadamente 5% nos valores Brix^o em comparação com o controle. Resultados semelhantes foram reportados por Beluci (2021) ao verificar os efeitos qualitativos na cana-de-açúcar promovidos pelas moléculas ethephon, trinexapaque etílico, clethodim, bispyribac-sodium e glyphosate e interferências no perfilhamento e produtividade da soqueira subsequente à aplicação nas safras de 2018 e 2019. Para o fator “dias após aplicação”, observou-se também efeito significativo entre as épocas de amostragem, sendo que a maior resposta foi verificada aos 49 e 56 DAA. Adicionalmente, obteve-se apenas efeito significativo dos fatores (IMC e DAA) de forma isolada, ou seja, sem interação entre eles ($p > 0,05$).

Quanto ao teor de fibra da cana-de-açúcar, não ocorreu interação entre os fatores, mas os IMC proporcionaram um incremento significativo ($0,01 < p < 0,05$), sendo que o MF apresentou a maior média, seguido por M e por F. Essa variável também apresentou efeito significativo ($p < 0,01$) para as épocas de amostragem, apresentando maior média aos 49 e 56 DAA. Este aumento no teor de fibra ocorre com a maturação natural da cana-de-açúcar, devido à maior concentração de sacarose nos espaços intercelulares, lignificação dos tecidos e consequente diminuição do teor de água disponível. Teores de fibra muito elevados podem comprometer a eficiência do processo de extração do caldo, por outro lado, teores muito baixos podem fazer com que a cana-de-açúcar perca a resistência e ocorra mais acamamento e danos durante a colheita, o que acarreta maior perda de açúcares com a água de lavagem. No entanto durante todo o período avaliado, o teor de fibra de todos os condicionadores da maturação da cana ficou dentro do valor recomendado para a indústria, entre 11 e 13% (Ripoli; Ripoli, 2004).

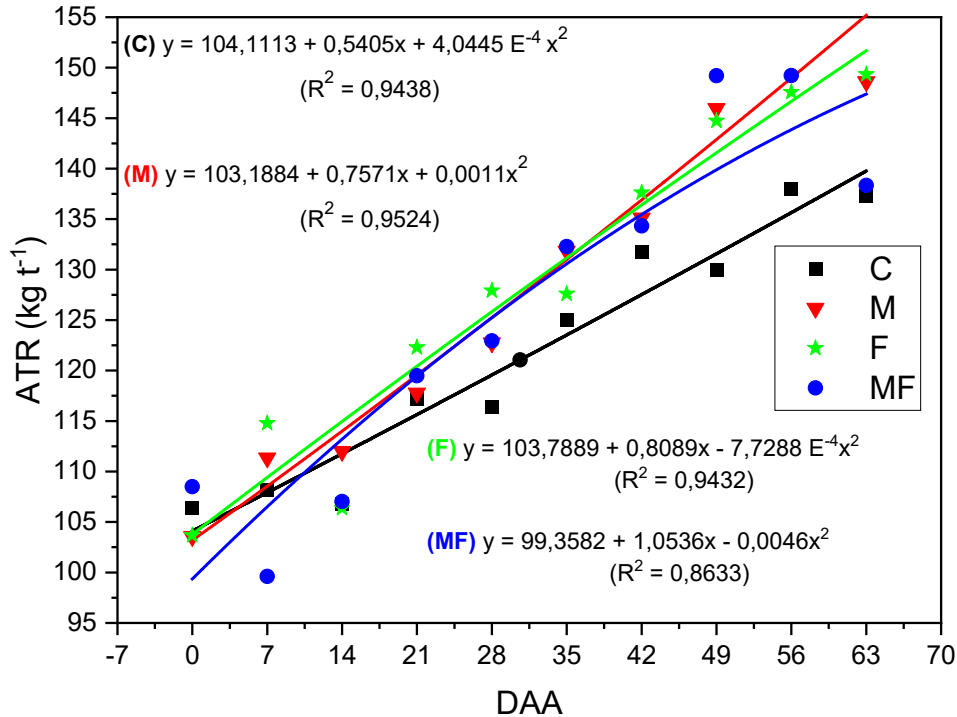
Para a pureza do caldo, verificou-se um incremento para as parcelas tratadas com o maturador (M) e com o fungicida (F) quando comparadas ao controle ($0,01 < p < 0,05$). Os valores de pureza aumentaram com o decorrer das épocas de amostragem, apresentando maiores médias a partir do 35 DAA, cerca 15% superiores ao controle. Embora não observada interação significativa entre os fatores, o teor de pureza atingiu o recomendado por Ripoli e Ripoli (2004) como sendo indicador de qualidade da matéria-prima para a indústria, acima de 85%.

Em relação aos teores de pol, os seguintes IMC: M, F e MF, proporcionaram um acréscimo médio de 6% em seus valores quando comparados ao controle. Similarmente, foi observado um incremento nessa variável com o decorrer das épocas de amostragem, sendo a maior média aos 56 DAA, seguido dos 49 e 63 DAA.

Verificou-se que não houve interação entre os IMC e a DAA para nenhum dos parâmetros avaliados, porém foi observado efeito significativo para os fatores IMC e DAA de forma isolada. Similar aos resultados obtidos para o Brix% e para a Pol, os IMC (M, F e MF) incrementaram os valores médios de ATR (6%) em relação ao controle, porém não se diferenciaram estatisticamente entre si. A mesma tendência foi observada para os dias de amostragem, sendo que aos 56 DAA, apresentaram maior média, seguido dos 49 e 64 DAA. Contudo, a partir do 35 DAA os valores de ATR aumentaram gradativamente. Este fato pode ser explicado pela fórmula do cálculo de ATR, na qual a Pol % cana é a característica que apresenta maior peso na sua determinação. Spaunhorst *et al.* (2019) obtiveram resultados próximos aos aqui alcançados quando avaliaram a eficácia do trinexapaque etílico nos parâmetros de rendimento da cana-de-açúcar para nove cultivares comerciais de cana-de-açúcar na Louisiana (USA) e determinaram o intervalo de tempo ideal entre a aplicação e a colheita para o rendimento máximo de sacarose.

Na Figura é possível observar que o IMC M apresentou resposta mais consistente em ATR quando comparado aos IMCs F e MF, sustentando teores mais elevados de ATR com o passar dos dias que sucederam suas aplicações.

Figura 5 - Representação gráfica da análise de regressão polinomial de ATR em função das épocas de amostragem para os IMC aplicados.



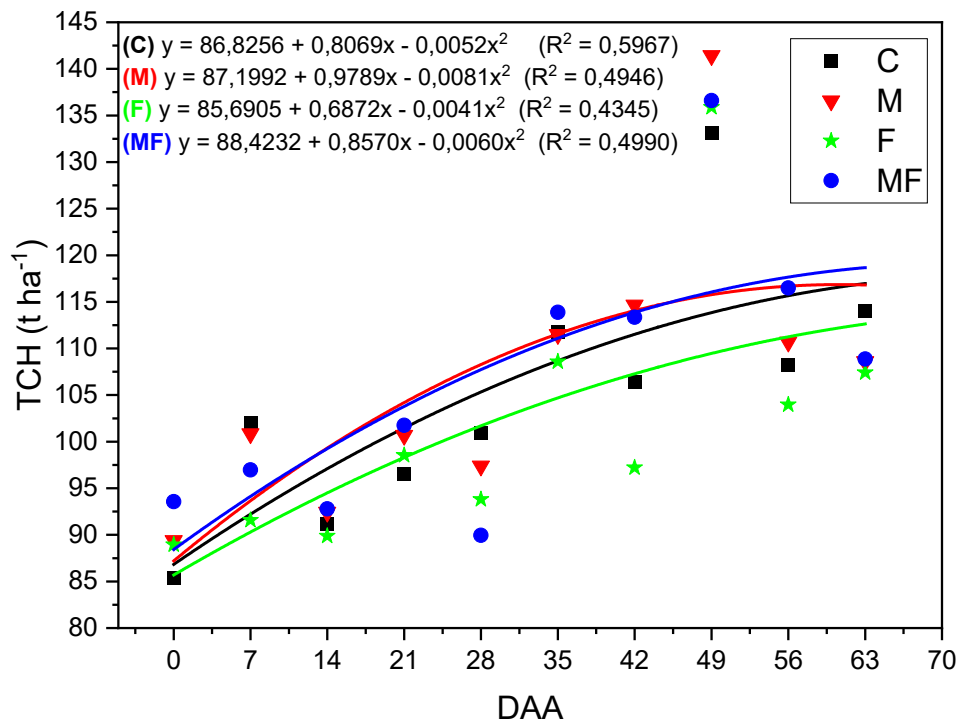
Fonte: Do próprio autor

Comportamento inversamente proporcional foi observado para o parâmetro ARcana, quando as médias dos IMC (M, F e MF) apresentaram valores inferiores ao do controle. Concomitante a esse efeito, as respostas para o fator DAA foram significativas e seus respectivos valores sofreram decréscimo com o decorrer das épocas de amostragem, alcançando valores menores aos 56 e 63 DAA. O mesmo foi observado por Viana *et al* (2008), onde os valores decresceram significativamente com o passar da época amostral, alcançando valores menores aos 71 DAA. Não foi observado interação significativa entre os fatores IMC e DAA.

Os IMC não influenciaram na produtividade (TCH), e não ocorreu interação entre os IMC × DAA, sendo este parâmetro apenas influenciado pelas épocas de amostragem, obtendo a maior média aos 49 DAA com 139,38 t ha⁻¹. Embora todos os IMC reduziram a altura do colmo, esse efeito não resultou em acréscimos no rendimento da cana. A falta de efeitos significativos no rendimento da cana pode ser correlacionada como os intervalos relativamente curtos de pulverização até os dias de amostragem ou baixas dosagens dos maturadores e fungicidas aplicados (Abel-Hamd *et al.*, 2013).

Na Figura é possível observar que o TCH foi impactado positivamente à partir dos 42 DAA pela adição do fungicida ao maturador representado pelo IMC (MF) quando comparado ao maturador aplicado isoladamente IMC (M).

Figura 6 – Representação gráfica da análise de regressão polinomial de TCH em função das épocas de amostragem para os IMC aplicados.



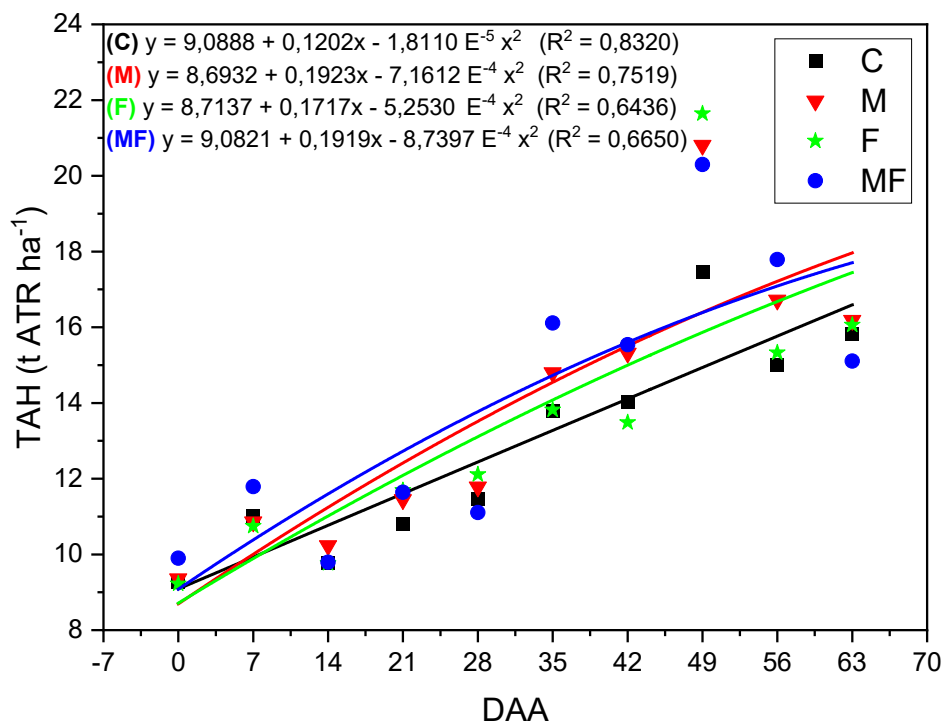
Fonte: Do próprio autor

Os valores médios obtidos para TAH variaram entre 12,85 t ATR ha⁻¹ (controle) e 13,91 t ATR ha⁻¹ (maturador + fungicida). Observou-se que o IMC contendo maturador + fungicida apresentou o maior valor médio de TAH, sugerindo uma interação potencialmente sinérgica entre os produtos aplicados. No entanto, as diferenças entre os tratamentos não foram estatisticamente significativas, conforme o teste de análise de variância (ANOVA). Comparativamente, os resultados de TCH mostraram variações entre 102,77 t ha⁻¹ (fungicida) e 108,93 t ha⁻¹ (maturador + fungicida), corroborando a tendência de aumento na produtividade com o uso combinado de produtos. A análise dos efeitos de dias após a aplicação (DAA) evidenciou aumentos significativos em TAH e TCH até 49 dias, momento em que se registrou

o pico de 20,05 t ATR ha⁻¹ e 139,38 t ha⁻¹, respectivamente. Estes dados concordam com a literatura, onde aplicações combinadas de maturadores e fungicidas são relatadas como eficazes em aumentar o rendimento da cana em diferentes condições edafoclimáticas. Além disso, os resultados destacam a relevância do manejo temporal na maximização dos ganhos, conforme observado também em estudos prévios.

Na Figura é possível observar que a adição do fungicida ao maturador representado pelo IMC (MF) no momento da aplicação favoreceu o balanço entre TCH e ATR, haja visto os maiores valores de TAH observados nas diferentes épocas de amostragem quando comparado aos demais IMC testados.

Figura 7 – Representação gráfica da análise de regressão polinomial de TAH em função das épocas de amostragem para os IMC aplicados.



Fonte: Do próprio autor

Os tratamentos com maturadores químicos, embora tenham diminuído a altura das plantas e aumentado os valores de ATR, não demonstraram efeitos positivos significativos na produtividade (TCH ou TAH). Isso pode ser explicado pela redistribuição de recursos metabólicos, promovida pelos maturadores, que frequentemente redirecionam a energia da

planta do crescimento vegetativo para o acúmulo de sacarose nos colmos (Siqueira, 2009; Leite *et al.*, 2008 b). Estudos mostram que a eficácia dos maturadores é condicionada por fatores ambientais, como temperatura e disponibilidade hídrica, que influenciam a capacidade de resposta das plantas ao tratamento (Leite *et al.*, 2009 b; Viator *et al.*, 2003). Adicionalmente, a manutenção de um número de colmos por hectare semelhante ao controle, bem como a redução do peso médio dos colmos observada em alguns casos, pode neutralizar os ganhos em qualidade tecnológica (Galdiano, 2008 b). Esses fatores evidenciam que o principal benefício dos maturadores está na melhoria da qualidade da matéria-prima para a indústria, ao invés de um impacto direto na produtividade física da cultura.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que o IMC maturador, associado ou não com a mistura de fungicidas inibiu o crescimento da cana considerando o parâmetro altura, mantendo constante a média do diâmetro do colmo e o peso e conseqüentemente aumentando o teor de açúcar total recuperável, além de melhorar a qualidade da cana evidenciado pelo incremento nos teores dos parâmetros de ATR e Pol%. A produtividade não foi afetada pelos IMC, apenas sofreu influência das épocas de amostragem, tendo sido o balanço entre TCH e ATR favorecido, haja visto os maiores valores de TAH observados nas diferentes épocas de amostragem para o IMC (MF) quando comparado aos demais IMC testados.

REFERÊNCIAS

- ABEL-HAMD, A. S.; BAKHEET, M. A.; GADALLA, A. F. I. Effect of chemical ripeners on juice quality, yield and yield components of some sugarcane cultivars under the conditions of Sohag Governorate. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, Dubai, v. 13, n. 11, p.1458–1464, 2013.
- AGUILAR, S. B. **Avaliação da atividade de dicetopiperazinas e gibellerinas como promotores de crescimento de plantas**. 2017. 39 f. Tese (Doutorado em Química), Universidade Autónoma Benemérita de Puebla (BUAP), Costa Rica, 2017.
- ALVES, T. C. **Tecnologia de aplicação aérea e terrestre no controle da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehni* (W. KRÜGER) E.J. BUTLER) da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2016.146>
- ALVES, T. C.; RODRIGUES DA CUNHA, J. P. A.; LEMES, E. M.; CASTRO, R. L. DE A.; SILVA, J. E. R.; DA ZANDONADI, C. H. S. Physiological changes in sugarcane in function of air and ground application of fungicide for orange rust control. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 34, p. 603 –614, 2018.
- ANAS, M.; LIAO, F.; VERMA, K. K.; SARWAR, M. A.; MAHMOOD, A.; CHEN, Z. L.; LI, Q.; ZENG, X. P.; LIU, Y.; LI, Y. R. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. **Biological Research**, London, v. 53, 47, 2020.
- ANTUNES, F. A. F.; CHANDEL, A. K.; TER'AN-HILARES, R.; MILESSI, T. S. S.; TRAVALIA, B. M.; FERRARI, F. A.; HERNANDEZ-PEREZ, A. F.; RAMOS, L.; MARCELINO, P. F.; BRUMANO, L. P.; SILVA, G. M.; FORTE, M. B. S.; SANTOS, J. C.; FELIPE, M. G. A.; DA SILVA, S. S. Biofuel production from sugarcane in Brazil. *In*: KHAN, M.T.; KHAN, I. A. (Eds.), *Sugarcane Biofuels: Status, Potential, and Prospects of the Sweet Crop to Fuel the World*. Springer International Publishing, Cham, pp. 99–121, 2019.
- ARAUS, V.; SWIFT, J.; ALVAREZ, J. M.; HENRY, A.; CORUZZI, G. M. A balancing act: How plants integrate nitrogen and water signals. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 71, n. 15, p. 4442–4451, 2020.
- AYELE, N.; TANA, T.; VAN HEERDEN, P. D. R.; W/TSADIK, K.; ALEMAYEHU, Y. Response of Sugarcane Cultivars to Chemical Ripeners During the Mid-Period of Harvesting in Ethiopia. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 25, p. 177–184, 2023.
- BARTLETT, D. W.; CLOUGH, J. M.; GODWIN, J.R.; HALL, A. A.; HAMER, M.; PARR-DOBRZANSKI, B. The strobilurin fungicides. **Pest Management Science**, Oxford, v. 58, n. 7, p. 649-662, 2002.
- BELUCI, L. R. **Maturadores químicos e seus efeitos na cana-de-açúcar**. 2021. 48f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Instituto Agronômico Programa De Pós-Graduação Agricultura Tropical E Subtropical, Campinas, 2021.

BRAGA JUNIOR R. L. C.; LANDELL, M. G. A. O uso de variedades antigas limita o ganho de produtividade da cana-de-açúcar. *Revista STAB*, Piracicaba, v. 38, n. 3, p. 21-22, 2020.

BNAMERICAS. **Capacidade de cogeração a biomassa deve crescer 1,1 GW no Brasil em 2024**. Disponível em: <https://www.bnamericas.com/pt/entrevistas/capacidade-de-cogeraçao-a-biomassa-deve-crescer-11-gw-no-brasil-em-2024>. Acesso em: 15 jan. 2025.

CAPUTO, M. M.; BEAUCLAIR, E. G. F.; SILVA, M. DE A.; PIEDADE, S. M. DE S. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n.1, p.15–23, 2008.

CESAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P. de; BISSOLI, B. M.; SILVA, F. C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana –de açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. *STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 6, p. 32-38, 1987.

CHAULAGAIN, B.; DUFAULT, N.; RAID, R. N.; ROTT, P. Sensitivity of two sugarcane rust fungi to fungicides in urediniospore germination and detached leaf bioassays. *Crop Protection*, v. 117, p. 86–93, 2019.

CHEN, Z.; QIN, C.; WANG, M.; LIAO, F.; LIAO, Q.; LIU, X.; LI, Y.; LAKSHMANAN, P.; LONG, M.; HUANG, D. Ethylene-mediated improvement in sucrose accumulation in ripening sugarcane involves increased sink strength. *BMC Plant Biology*, Amsterdam, v. 19, p. 285-302, 2019.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - **Produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24 chega a 713,2 milhões de toneladas, a maior da série histórica**. 2024 a. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5489-producao-de-cana-de-acucar-na-safra-2023-24-chega-a-713-2-milhoes-de-toneladas-a-maior-da-serie-historica> >. Acessado em: 10, nov., 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - **Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar**. 2024 b. Disponível: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana>. Acessado em: 10, nov., 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - **Produção de cana-de-açúcar é estimada em 689,8 milhões de toneladas na safra 2023/2024**. 2024 c. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5685-producao-de-cana-de-acucar-e-estimada-em-689-8-milhoes-de-toneladas-na-safra-2024-2025>. Acesso em: 15 jan. 2025.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - **Boletim de Acompanhamento da Safra 2023/2024**. 2024 d. Disponível em: https://www.novacana.com/pdf/18042024090400_boletim-conab-180424_NC.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

CONSECANA. **Regulamento dos negócios de compra e venda de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**: Manual de Instruções. Piracicaba: 2006. 16 f. Disponível em: <https://www.consecana/publicações/manualdeinstruções.com.br>. Acessado em: 13, dez., 2023

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D. T. DA R. G.; GONÇALVES, E. R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 56-63, 2011.

CRUSCIOL, C. A. C.; LEITE, G. H. P.; SIQUEIRA, G. F. DE; SILVA, M. DE A. Response of application of growth inhibitors on sugarcane productivity and sucrose accumulation in the middle of cropping season in Brazil. **Sugar Technology**, v. 9, p. 155-164, 2017.

DEMANT, L. A. R; MARINGONI, A. C. Controle da mancha angular do feijoeiro com uso de fungicidas e seu efeito na produção das plantas. **Idesia (Arica)**, v.30, n.2, p.93-100, 2012.

Disponível online em: <http://www.modclima.com.br/pdf/cana-sobestiagem.pdf> (2010). Acessado em 8 de outubro de 2024.

FAGAN, E. B. **A cultura da soja: Modelo de crescimento e aplicação da estrobirulina piraclostrobina**. 2007, 84 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba. 2007.

FAGAN, E. B.; DOURADO NETO, D.; VIVIAN, R.; FRANCO, R. B.; YEDA, M. P. MASSIGNAM, L. F.; OLIVEIRA, R. F. DE.; MARTINS, K. V. Efeito da aplicação de piraclostrobina na taxa fotossintética, respiração, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade de grãos de soja. **Bragantia**, Campinas, v.69, n. 4, p.771-777, 2010.

FARIA, A. T.; FERREIRA, E.A.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, D. V.; SILVA, A. A.; FIALHO, C.M.T., SILVA, A.F. Effect of trinexapac-ethyl on growth and yield of sugarcane. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 33, p. 491-497, 2015.

FERNÁNDES, M. DA S.; SEGATO, S. V.; DA ROCHA, D. R. Produtividade, açúcar e brotação de cana-de-açúcar submetida a fungicidas e maturadores. **Nucleus**, Quezon City, v. 10, n. 2, p. 323-338.

FERNANDES, A. C. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. Piracicaba: **STAB**, 2003. 240 p.

FERREIRA, C. A. DA S.; SANTANA, M. V.; SANTOS, J. B. DOS.; SANTOS, T. T. M. DOS.; LÔBO, L. M.; FERNANDES, P. M. Yield and technological quality of sugarcane cultivars under infestation of *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794). **Revista Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 85, p. 1-7, 2018.

FERREIRA, T.H. S.; TSUNADA, M. S.; BASSI, D.; ARAÚJO, P.; MATTIELLO, L.; GUIDELLI, G. V.; RIGHETTO, G. L.; GONÇALVES, V. R.; LAKSHMANAN, P.; MENOSSI, M. Sugarcane Water Stress Tolerance Mechanisms and Its Implications on Developing Biotechnology Solutions. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, 1077, 2017.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VIEIRA, R. A.; SCAPIM, C. A.; MIRANDA, G. V.; REZENDE, L. M. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.34, n.1, p. 99-101, 2012.

GALDIANO, L. C. **Qualidade da cana-de-açúcar (Saccharum spp) submetida à aplicação de maturadores químicos**. 2008. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008a.

GALDIANO, T. B. Avaliação da qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar sob aplicação de maturadores no final da safra. **Anais da 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Tecnologia de Cana-de-Açúcar**, p. 1–8, 2008 b.

GENTILE, A.; DIAS, L. I.; MATTOS, R. S.; FERREIRA, T. H.; MENOSSI, M. MicroRNAs and drought responses in sugarcane. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, n. 6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00058>.

HEDDEN, P. **Gibberellin Biosynthesis in Higher Plants**. In Annual Plant Reviews: The Gibberellins, v. 49, p37–72, John Wiley and Sons, Ltd, 2016.

HIDA, J. N. T.; SILVEIRA, J. C. F. DA; SEGATO, S. V. Efeito dos maturadores químicos na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Nucleus**, Quezon City, v.6, n.2, p. 149-165, 2009.

HOANG, D. T.; HIROO, T.; YOSHINOBU, K. Nitrogen use efficiency and drought tolerant ability of various sugarcane varieties under drought stress at early growth stage. **Plant Production Science**, Abingdon, v. 22, p. 250–261, 2019.

KIM, H. Y.; LEE, I. J.; KIM, J. T.; WON, J. G.; HWANG, I. C.; KIM, K. U. Effect of prohexadione calcium on growth components and endogenous gibberellins contents of rice (*Oryza sativa L.*). **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 193, p. 445-451, 2007.

KUMAR, B. Plant Bio-regulators for Enhancing Grain Yield and Quality of Legumes: A Review. **Agricultural Reviews**, Karnal, v. 42, n. 2 p. 175-282, 2020.

LANDELL, M. G. A. BRESSIANI, A. **Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). Sugarcane. Campinas: Agronomic Institute, p. 101-155, 2008.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. **Manual do experimentador: melhoramento da cana-de-açúcar**. In: Metodologia de Experimentação: ensaios de competição em cana-de-açúcar. Pindorama: Instituto Agrônomo, p.3-9, 1995.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43 p. 995-1001, 2008a.

LEITE, G. H. P. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 527-534, 2009a.

LEITE, M. A. de A.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. de A. Respostas fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a maturadores químicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 321–327, 2008b.

LEITE, M. A. de A.; CRUSCIOL, C. A. C. Maturadores químicos e seus efeitos na cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p. 361–368, 2009b.

- LIU, Y.; YANG, H.; LIU, Q.; ZHAO, X.; XIE, S.; WANG, Z.; WEN, R.; ZHANG, M.; CHEN, B. Effect of Two Different Sugarcane Cultivars on Rhizosphere Bacterial Communities of Sugarcane and Soybean Upon Intercropping. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 11, 566472, 2021.
- LIU, Z.; BIAN, Q.; BAI, J.; HE, G.; CHEN, M.; ZHENG, H.; BATCHELOR, W. D. WANG, H.; CONG, J.; YING, H.; YIN, Y.; ZHANG, Q.; CUI, Z.; ZHANG, F. Closing of the yield gap can be achieved without groundwater extraction in Chinese wheat production. **Global Food Security**, Amsterdam, v. 33, p. 100630, 2022.
- MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JUNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 295-301, 2001.
- MEHDI, F.; CAO, Z.; ZHANG, S.; GAN, Y.; CAI, W.; PENG, L.; WU, Y.; WANG, W.; YANG, B. Factors affecting the production of sugarcane yield and sucrose accumulation: suggested potential biological solutions. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 15, 1374228, 2024a.
- MEHDI, F.; GALANI, S.; WICKRAMASINGHE, K. P.; ZHAO, P.; LU, X.; LIN, X.; XU, C.; LIU, H.; LI, X.; LIU, X. Current perspectives on the regulatory mechanisms of sucrose accumulation in sugarcane. **Heliyon**, London, v. 28, n. 10, e27277, 2024b.
- MILINDI, P. S.; NSENUKA, E. E.; CHOPRA, S. S. Driving sustainability in the sugarcane industry: Life Cycle Assessment of conventional and emerging spraying technologies in Tanzania. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 955, n. 10, 176963, 2024.
- MISRA, V.; SOLOMON, HASHEM, A.; AL-ARJANI, A. F.; MALL, A. K.; PRAJAPATI, C.P.; ANSARI, M. I. Minimização das perdas de sacarose pós-colheita em solos afetados pela seca usando formulação química. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 309 – 317, 2020b.
- MISRA, V.; SOLOMON, S.; MALL, A. K.; PRAJAPATI, C. P.; HASHEM, A.; ANSARI, M. I. Avaliação morfológica da cana-de-açúcar com estresse hídrico: uma comparação entre culturas alagadas e afetadas pela seca. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Amsterdam, v. 27, n. 5, p.1228 – 1236, 2020a.
- MONTESANO, F. F.; SERIO, F.; MININNI, C.; SIGNORE, A.; PARENTE, A.; SANTAMARIA, P. Tensiometer-based irrigation management of subirrigated soilless tomato: Effects of substrate matric potential control on crop performance. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, 1150, 2015.
- MOREIRA, L.A.; SCHUMACHER, P. V.; TERYLENE, P. M. A.; PAULINO, C. N. A.; CHALFUN-JUNIOR, A. Insights into the Positive Effect of Pyraclostrobin on Sugarcane Productivity. **Agronomy**, Basel, v. 8, n. 7, p. 122-133, 2018.
- MUTTON, M. A., 1993. Modo de ação do sal de isopropilamina de N-(fosfometil) glicina (glifosate) e efeito maturador na cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO ROUNDUP EFEITO MATURADOR. Guarujá. **Anais [...]** Guarujá, 1993. p.9-17.

- NASCIMENTO, R.; GHELLER, A. C. A. Resultados da aplicação de maturadores vegetais em cana-de-açúcar, variedades RB72454 e RB835486 na região de Araras, SP. 1998. Disponível em: <http://www.proppg.ufscar.br/publica/4jc/ixcic/UFSCar/Agrarias/879-nascimento.htm>. Acesso em: 22, out., 2023.
- NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 153, n. 3, p. 375-379, 1944.
- NGUYEN, C.T.; DANG, L. H.; NGUYEN, D.T.; TRAN, K.P.; GIANG, B. L.; TRAN, N. Q. Effect of GA3 and Gly Plant Growth Regulators on Productivity and Sugar Content of Sugarcane. **Agriculture**, [s. l.], v. 7, p. 136, 2019.
- PAUL, M. J.; PELLNY, T. K. Carbon metabolite feedback regulation of leaf photosynthesis and development. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 382, p. 539-547, 2003.
- PEREIRA, C. N.; SILVEIRA, J. M. F. J. Análise Exploratória da Eficiência Produtiva das Usinas de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 54, n. 1, p. 147-166, 2016.
- RADEMACHER, W. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 34, n. 4, p. 845-872, 2015.
- REIS, K. C. S.; SAVARIO, C. F.; HOY, J. W. Effects of Pesticides on Red Rot of Planted Sugarcane. **Plant Disease**, St. Paul, v. 107, p. 3616-3622, 2023.
- RESENDE, P. A. P.; SOARES, J. E.; HUDETZ, M. Moddus®, a plant growth regulator and management tool for sugarcane production in Brazil. **International Sugar Journal**, Coulsdon, v. 102, p. 5-9, 2000.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.
- SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G. P. DE; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 5, p. 683-686, 1995.
- SCHENEIDER, F. **Sugar analysis ICUMSA methods**. Copenhagen: British Sugar Analysis, Official and Tentative Methods. 1979. 265 p.
- SHUKLA, S. K.; JAISWAL, V. P.; SHARMA, L.; YADAV, S. K.; AWASTHI, S. K.; GAUR, A.; ZUBAIR, A.; TIWARI, R. Integrated application of ethrel and microbial consortia: effect on dry matter accumulation, its partitioning, and nutrients uptake in late-planted sugarcane under subtropical Indian condition. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 41, p. 1-17, 2022.
- SILVA, M. A.; CAPUTO, M.M. **Ripening and the use of ripeners for better sugarcane management**. In: MARIN, F. R. (ed.), *Crop Management: Cases and Tools for Higher Yield and Sustainability*. InTech, 2012. p. 2-24.
- SILVA, M. DE A.; VÉLIZ, J. G. E.; SARTORI, M. M. P.; SANTOS, H. L. Glyphosate applied at a hormetic dose improves ripening without impairing sugarcane productivity and ratoon sprouting. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 806, 150503, 2022.

SILVA, R. F. DOS S.; SEGATO, S. V. Importância do uso de maturadores vegetais na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, Quezon City, v. 8, n. 2, p. 35-46, 2011.

SIMMONS, D.; GREY, T.; FAIRCLOTH, W.; VENCILL, W.; WEBSTER, T. Trinexapac-ethyl Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivar Evaluations with Variable Rates of Nitrogen. **Journal of Experimental Agriculture International**, West Bengal, v. 16, n. 5, v. 1–9, 2017.

SPAUNHORST, D. J.; TODD, J. R.; HALE, A. L. Sugarcane cultivar response to glyphosate and trinexapac-ethyl ripeners in Louisiana. **PLoS ONE**, San Francisco, v.14, n. 6, e0218656, 2019.

SIQUEIRA, G. F. de. **Eficácia da mistura de glifosato a outros maturadores na cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

SRIVASTAVA, A. K.; PASALA, R.; MINHAS, P. S.; SUPRASANNA, P. Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating redox signaling as a possible unifying mechanism. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 137, p. 237-278, 2016.

SUTTON, M., OENEMA, O., ERISMAN, J. W.; LEIP, A.; van GRINSVEN, H.; WINIWARTER, W. Too much of a good thing. **Nature**, London, v. 472, p. 159–161, 2011.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian in Plater's Record, Aila**, v. 57, pp. 133-150, 1964.

THOMIDIS, T.; EXADAKTYLOU, E. Effectiveness of cyproconazole to control Armillaria root rot of apple, walnut and kiwifruit. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 36, p. 49–51, 2012.

THORBURN, P. J.; BIGGS, J. S.; PALMER, J.; MEIER, E. A.; VERBURG, K.; SKOCAJ, D. M. Prioritizing crop management to increase nitrogen use efficiency in australian sugarcane crops. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, 1504, 2017.

UDOP. **Cogeração de energia a partir de biomassa cresce 8% no primeiro trimestre de 2024**. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2024/05/24/cogeracao-de-energia-a-partir-de-biomassa-cresce-8-no-primeiro-trimestre-de-2024.html>. Acesso em: 15 jan. 2025.

VAN HEERDEN, P. D. R. Evaluation of Trinexapac-ethyl (Moddus®) as a New Chemical Ripener for the South African Sugarcane Industry. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, p. 295–299, 2014.

VAN HEERDEN, P. D. R.; MBATHA, T. P.; NGXALIWE, S. Chemical ripening of sugarcane with trinexapac-ethyl (Moddus®) — Mode of action and comparative efficacy. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 181, p. 69-75, 2015.

VARUCHA, M.; SOLOMON, S.; HASHEM, A.; ABD_ ALLAH, E. F.; AL-ARJANI, A. F.; MALL, A. K.; PRAJAPATI, C. P.; ANSARI, M. I. Minimization of post-harvest sucrose losses in drought affected sugarcane using chemical formulation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Amsterdam, v. 27, n.1, p. 309-317, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.09.028>.

- VIANA, R. D. S.; VELINI, E. D.; LISBOA, L. A. M.; ASSUMPÇÃO, A.C.N.D., FIGUEIREDO, P. A. M. Application of chemical ripeners mixtures the technological quality and agricultural productivity of sugarcane. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, p. 541–50, 2017.
- VIANA, R. DA S.; SILVA, P. H.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; GUIMARÃES, E. R.; BENTO, M. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana de açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringa, v. 30, n. 1, p. 65-71, 2008.
- VIATOR, R. P.; HALE, A. L.; RICHARD JR., E. P. Glyphosate effects on sugarcane ratoon crop yield and quality. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 131–139, 2003.
- VUYYURU, M.; SANDHU, H. S.; MCCRAY, J. M.; RAID, R. N.; ERICKSON, J. E.; OGRAM, A. V. Amending sugarcane monoculture through rotation breaks and fungicides: effects on soil chemical and microbial properties, and sucrose yields. **Crop and Pasture Science**, Clayton, v. 70, n. 11, p. 990-1003, 2019a.
- VUYYURU, M.; SANDHU, H. S.; MCCRAY, J. M.; RAID, R. N.; ERICKSON, J. E. Effects of Nitrogen Fertilization and Seed Piece Applied Fungicides on Establishment, Tiller Dynamics, and Sucrose Yields in Successively Planted Sugarcane. **Agronomy**, Basel, v. 9, n. 7, p. 387- 408, 2019b.
- XIAO, C., ZOU, H., FAN, J., ZHANG, F., LI, Y., SUN, S., & PULATOV, A. Optimizing irrigation amount and fertilization rate of drip-fertigated spring maize in northwest China based on multi-level fuzzy comprehensive evaluation model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 257, n. 1, 107157, 2021.
- YAO, J.; CUI, B.; ZHAO, X.; WANG, Y.; ZENG, Z.; SUN, C.; YANG, D; LIU, G.; GAO, J.; CUI, H. Preparation, characterization, and evaluation of azoxystrobin nanosuspension produced by wet media milling. **Applied Nanoscience**, Auckland, v. 8, n. 3, p. 297–307, 2018.
- ZENG, X. P.; ZHU, K.; LU, J. M.; JIANG, Y.; YANG, L. T.; XING, Y. X.; LI, Y. R. Long-term effects of different nitrogen levels on growth, yield, and quality in sugarcane. **Agronomy**, Basel, v. 10, n.3, 354, 2020.
- ZHAO, D.; ZHU, K.; LABORDE, C. Sugarcane Growth, Physiological and Yield Responses to Application of Trinexapac-ethyl (Moddus™) in Grand Growth Phase. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 42, p. 2813–2826, 2023.
- ZHAO, X.; JIANG, Y.; LIU, Q.; YANG, H.; WANG, Z.; ZHANG, M. Effects of Drought-Tolerant Ea-DREB2B Transgenic Sugarcane on Bacterial Communities in Soil. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 11, 704, 2020.