

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**UTILIZAÇÃO DE MATURADORES QUÍMICOS PARA
ANTECIPAÇÃO DA COLHEITA DO MILHO “DKB 390 PRO4”**

JOSE LUIZ DE LIMA MARTINS

**Jaboticabal
2026**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**UTILIZAÇÃO DE MATURADORES QUÍMICOS PARA
ANTECIPAÇÃO DA COLHEITA DO MILHO “DKB 390 PRO4”**

José Luiz de Lima Martins

Orientador: Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

Coorientadora: MSc. Letícia de Paula Leite

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias -
UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para
graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

Jaboticabal – SP
1º Semestre/2026

M386u

Martins, José Luiz de Lima

Utilização de maturadores químicos para antecipação da colheita do milho "DKB 390 PRO4" / José Luiz de Lima Martins.

-- Jaboticabal, 2026

61 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

Coorientadora: Letícia de Paula Leite

1. Milho. 2. Produtividade. 3. Umidade. I. Título.

AUTOR

José Luiz de Lima Martins

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO
UTILIZAÇÃO DE MATURADORES QUÍMICOS PARA ANTECIPAÇÃO DA COLHEITA
DO MILHO 'DKB 390 PRO4'

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves

Coorientadora: Me. Letícia de Paula Leite

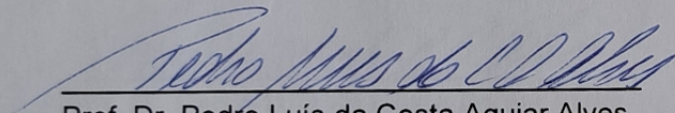
Área de Concentração: Agronomia

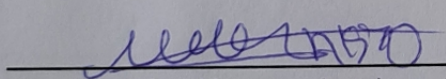
Data da defesa: 10/06/2026

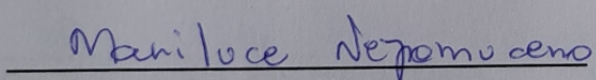
(x) Aprovado

() Reprovado

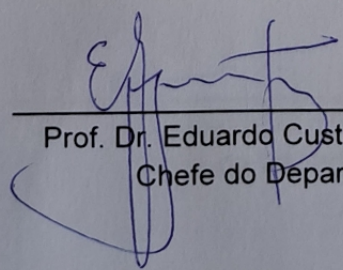
Banca Examinadora:


Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves
Departamento de Biologia – FCAV/UNESP


Me. Oloukémi Karmen Jocelyne Adjera
Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal) – FCAV/UNESP


Dra Mariluce Pascoina Nepomuceno
Autônoma

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 08/07/2026


Prof. Dr. Eduardo Custódio Gasparino
Chefe do Departamento

Oferecimento

Dedico este trabalho a minha mãe Elisabeth, a minha finada avó Maria Antônia e ao meu tio Edson, que, com muito esforço e dedicação, trabalharam muito para me proporcionar uma educação e me apoiar em todas as minhas conquistas. Agradeço por suas orações, por todo o trabalho árduo e por sempre acreditarem em mim.

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho representa uma etapa importante da minha formação acadêmica e não teria sido possível sem o apoio, a orientação e a contribuição de diversas pessoas que estiveram presentes ao longo dessa trajetória.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me conceder saúde, força e perseverança durante todo o período de desenvolvimento deste trabalho, permitindo que eu enfrentasse os desafios e chegasse até aqui.

Expresso também minha profunda gratidão a minha mãe, Elisabeth de Lima Martins e ao meu tio Edson de Lima Martins, por todo o incentivo, apoio e pelos ensinamentos transmitidos ao longo da vida. A eles devo grande parte das conquistas alcançadas até o momento.

Ao meu orientador, Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves, registro meu sincero agradecimento pela orientação, confiança e pelos valiosos ensinamentos compartilhados durante a realização desta pesquisa. Sua experiência e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientadora, MSc. Letícia de Paula Leite, agradeço pelo acompanhamento, pelas sugestões e pela disponibilidade em contribuir com o desenvolvimento desta pesquisa ao longo de todas as suas etapas.

Aos colegas e amigos de trabalho, Josiel Marcos Carvalho Soares, Bruna Dal’Pizol Novello, Gabriel Mangili de Paula Rodrigues, deixo meu agradecimento pela colaboração nas atividades desenvolvidas, pelo apoio durante os experimentos e pelos momentos de convivência que tornaram essa jornada mais

agradável.

Ao técnico José Valcir Fidelis Martins, agradeço pela ajuda e pelo suporte técnico prestado durante a condução dos experimentos, sempre demonstrando disposição em colaborar.

Aos amigos que a universidade me proporcionou, Lucas Henrique Gomes Zan, Lucas Carreira Monteverdi, Pedro Henrique da Silva Souza e João Gabriel Carnevali Carreira, sou grato pelos momentos compartilhados, pelo companheirismo e por contribuírem para tornar essa fase da vida acadêmica ainda mais especial.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio por meio do programa PIBIC, que contribuiu para a realização deste trabalho e para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, deixo meu agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e para minha formação pessoal e profissional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estádios de desenvolvimento do milho **Error! Bookmark not defined.**

Figura 2 - Fórmula química da molécula sintética Trinexapaque-etílico etílico
..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 3 - Conversão de GA20 em GA1 por meio da enzima 3 β -hidroxilase
..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 4 - Fórmula química da molécula sintética do produto Ethepho **Error! Bookmark not defined.**

Figura 5 - Dados da precipitação (mm) e temperatura (°C) durante o período de outubro de 2024 a março de 2025 para a região de Jaboticabal-SP **Error! Bookmark not defined.**

Figura 6 - Diâmetro do colmo (A-B), altura de inserção da primeira espiga (C-D) e comprimento da espiga (E-F) em resposta aos produtos e às épocas de aplicação. A, C e E demonstram os tratamentos Controle, Tri-Ex 1.2, Tri-Ex 0.6, Etf 2.0 e Etf 1.0; B, D e F, as épocas de aplicação aos 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS) **Error! Bookmark not defined.**

Figura 7 - Diâmetro da espiga (mm) em função dos produtos e das épocas de aplicação. (A) Efeito dos tratamentos: Controle, Trinexapaque-etílico 1,2 L ha⁻¹ (Tri-Ex 1.2), Trinexapaque-etílico 0,6 L ha⁻¹ (Tri-Ex 0.6), Etefom 2,0 L ha⁻¹ (Etf 2.0) e Etefom 1,0 L ha⁻¹ (Etf 1.0). (B) Efeito das épocas de aplicação: 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS) **Error! Bookmark not defined.**

Figura 8 - Número de linhas por espiga (A-B), massa de 100 grãos (C-D) e massa do sabugo (E-F) em resposta aos produtos e às épocas de aplicação. Em A, C e E estão os tratamentos Controle, Tri-Ex 1.2, Tri-Ex 0.6, Etf 2.0 e Etf 1.0; em B,

D e F, as épocas de aplicações **Error! Bookmark not defined.**

Figura 9 - Produtividade de grãos por espiga (kg/espiga) em função dos produtos e das épocas de aplicação. (A) Efeito dos tratamentos: Controle, Trinexapaque-etílico 1,2 L ha⁻¹ (Tri-Ex 1.2), Trinexapaque-etílico 0,6 L ha⁻¹ (Tri-Ex 0.6), Etefom 2,0 L ha⁻¹ (Etf 2.0) e Etefom 1,0 L ha⁻¹ (Etf 1.0). (B) Efeito das épocas de aplicação: 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS) **Error! Bookmark not defined.**

Figura 10 - Produtividade total (kg/ha) em função dos produtos e das épocas de aplicação. (A) Efeito dos tratamentos: Controle, Trinexapaque-etílico 1,2 L ha⁻¹ (Tri-Ex 1.2), Trinexapaque-etílico 0,6 L ha⁻¹ (Tri-Ex 0.6), Etefom 2,0 L ha⁻¹ (Etf 2.0) e Etefom 1,0 L ha⁻¹ (Etf 1.0). (B) Efeito das épocas de aplicação: 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS). **Error! Bookmark not defined.**

Figura 11 - Umidade dos grãos (%) em função dos produtos e das épocas de aplicação. (A) Efeito dos tratamentos: Controle, Trinexapaque-etílico 1,2 L ha⁻¹ (Tri-Ex 1.2), Trinexapaque-etílico 0,6 L ha⁻¹ (Tri-Ex 0.6), Etefom 2,0 L ha⁻¹ (Etf 2.0) e Etefom 1,0 L ha⁻¹ (Etf 1.0). (B) Efeito das épocas de aplicação: 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS). **Error! Bookmark not defined.**

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
1.INTRODUÇÃO	13
2.REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. A cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.)	15
2.3. Trinexapaque-etílico como maturador químico	25
2.4. Ethephom como maturador químico	28
2.5. Considerações gerais	32
3.MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Descrição experimental e tratamentos	33
3.2. Implementação e execução do experimento	34
3.3. Variáveis analisadas	37
3.4. Análise estatística	38
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.CONCLUSÃO	51
6.LITERATURA CITADA	52

UTILIZAÇÃO DE MATURADORES QUÍMICOS PARA ANTECIPAÇÃO DA COLHEITA DO MILHO “DKB 390 PRO4”

RESUMO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) ocupa posição estratégica na agricultura mundial, com utilização na alimentação humana, na nutrição animal e na produção de biocombustíveis. Diante da elevada demanda por esse cereal, a busca por práticas de manejo que favoreçam a eficiência produtiva e, potencialize, a antecipação da colheita tem ganhado relevância. Entre essas práticas, destaca-se o uso de maturadores químicos, empregados em diferentes culturas com a finalidade de induzir alterações fisiológicas associadas ao processo de maturação. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de maturadores químicos sobre a antecipação da colheita, os parâmetros agrônômicos e o desempenho produtivo da cultura do milho. O experimento foi conduzido no campo, no município de Jaboticabal, SP, com a cultivar DKB 390 PRO4, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 5×4, constituído por cinco tratamentos (testemunha, duas doses de trinexapaque-etílico e duas doses de etefom) e quatro épocas de aplicação (70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura). Foram avaliadas variáveis relacionadas ao desenvolvimento e à maturação da cultura, com ênfase no teor de umidade dos grãos. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística. Os resultados mostraram que os maturadores químicos, nas doses e épocas testadas, não promoveram alterações significativas nas variáveis agrônômicas avaliadas, sendo observadas apenas variações pontuais na umidade dos grãos obtendo o menor valor aos 90 DAS e 22% umidade. Conclui-se que, nas condições deste estudo, o uso desses maturadores não proporcionou vantagens agrônômicas consistentes e práticas para a antecipação da colheita do milho.

Palavras-chave: *Zea mays*; reguladores de crescimento; ethephon; trinexapaque-etílico; maturação fisiológica

USE OF CHEMICAL RIPENING AGENTS TO ADVANCE CORN HARVEST

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is a crop of major global economic importance, being widely used for human consumption, animal feed, and biofuel production. Given the high demand for this cereal, the search for management practices that improve production efficiency and potentially enable earlier harvest has become increasingly relevant. Among these practices, the use of chemical ripeners has been highlighted in different crops due to their potential to induce physiological changes associated with the maturation process. In this context, the present study aimed to evaluate the effects of chemical ripeners on harvest anticipation, agronomic traits, and productive performance of maize. The experiment was conducted under field conditions in Jaboticabal, São Paulo, Brazil, using the hybrid DKB 390 PRO4, in a randomized complete block design arranged in a 5 × 4 factorial scheme, consisting of five treatments (control, two rates of trinexapac-ethyl, and two rates of ethephon) and four application times (70, 80, 90, and 100 days after sowing). Variables related to crop development and maturation were assessed, with emphasis on grain moisture content. The obtained data were subjected to statistical analysis. The results showed that the chemical ripeners, at the tested rates and application times, did not promote significant changes in the evaluated agronomic variables, with only occasional variations in grain moisture content at specific application times. It was concluded that, under the conditions of this study, the use of these ripeners did not provide consistent or practical agronomic advantages for anticipating maize harvest.

Keywords: *Zea mays*; growth regulators; ethephon; trinexapac-ethyl; physiological maturity

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, é o terceiro cereal de maior consumo global (NADERI et al., 2024), sendo os Estados Unidos o maior produtor, responsável por 35% da produção mundial (COELHO, 2021). Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), o Brasil destaca-se entre os principais produtores mundiais de milho, ocupando atualmente a terceira posição no ranking global de produção e a segunda posição entre os maiores exportadores do cereal. A relevância do país no mercado internacional reflete sua elevada capacidade produtiva e sua importância no abastecimento global de grãos. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, a produção brasileira de milho para a safra 2025/2026 está estimada em aproximadamente 138,4 milhões de toneladas de grãos, cultivadas em cerca de 22,7 milhões de hectares, considerando as três safras do cereal (CONAB, 2025).

Segundo Kumar et al. (2012), além de ser empregado na alimentação humana e servir como fonte de nutrientes e fibras, o milho também tem sido utilizado para fornecer nutrientes aos animais através da ração. Ademais, a cultura ainda é empregada na cadeia de produção de combustíveis renováveis em países onde a cultura da cana-de-açúcar não é a principal fonte de fornecimento de combustíveis de primeira ou segunda geração (KUMAR et al., 2012).

No Brasil, o mercado de produção de etanol de milho tem apresentado crescimento significativo nos últimos anos segundo a UNEM (2025), a produção nacional desse biocombustível pode atingir aproximadamente 9,9 a 10 bilhões de litros na safra 2025/2026, evidenciando a expansão do setor e o aumento da

participação do milho na matriz energética brasileira. O crescimento dessa cadeia produtiva tem sido impulsionado pela ampliação do número de usinas, avanços tecnológicos no processamento do grão e pela crescente demanda por fontes renováveis de energia, contribuindo para a redução da emissão de gases de efeito estufa e para a diversificação da produção de biocombustíveis no país (SILVA et al., 2021).

Considerando a crescente demanda por milho nos setores alimentício e de produção de biocombustíveis, torna-se relevante o desenvolvimento de estratégias que favoreçam o aumento da produtividade da cultura e permitam sua maturação no período mais adequado. Nesse contexto, em culturas como a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), o uso de substâncias químicas denominadas maturadores tem sido adotado como estratégia para elevar o teor de sacarose nos colmos, a partir do manejo do estágio de maturação da cultura (DE PAULA SILVA et al., 2023; AYELE et al., 2023).

Esses produtos químicos são responsáveis pela regulação do crescimento vegetal a partir de alterações fisiológicas e bioquímicas que desencadeiam mudanças no equilíbrio hormonal, inibindo o crescimento vegetativo das espécies (CAPUTO et al., 2007; CORREIA E VILLELA, 2015). A partir da capacidade de otimizar o planejamento da colheita a partir de sua antecipação, os maturadores ocasionam alterações qualitativas e quantitativas na produtividade (EMBRAPA, 2022; CORREIA E VILLELA, 2015). Esses produtos podem, ainda, apresentar substâncias que dessecam a planta, favorecendo a queima e diminuindo as impurezas vegetais ou que inibem o florescimento (EMBRAPA, 2022).

Ademais, o adiantamento da colheita auxilia diretamente na retirada do produto mais cedo do campo, gerando maior eficiência diante do próximo plantio, podendo dentro da janela de semeadura iniciar o plantio de outras culturas e, conseqüentemente, trazendo um maior retorno financeiro ao produtor (LEITE et al., 2022). Testar a capacidade dos maturadores de se ter uma resposta quanto ao adiantamento da colheita, traz benefícios não somente para os produtores agrícolas, mas sim para uma cadeia que depende desta matéria-prima para seus subprodutos.

Apesar de apresentar benefícios a outras culturas, estudos com maturadores na cultura do milho são escassos na literatura, o que dificulta o acesso a informações e sua aplicabilidade no campo. Desta forma, considera-se de grande importância a realização de pesquisas nesta área, de forma com que essas possam contribuir positivamente para o avanço desta tecnologia, principalmente diante as adversidades enfrentadas diariamente no campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do milho

O milho é uma gramínea anual da família Poaceae, proveniente do México, introduzida e naturalizada no Brasil (MATSUOKA et al., 2002; STITZER; ROSS-IBARRA, 2018). É uma espécie monóica, com flores masculinas e femininas separadas em diferentes estruturas da mesma planta. A inflorescência masculina forma o pendão no ápice da planta, enquanto a inflorescência feminina origina a espiga, desenvolvida a partir de meristemas axilares (CHEN; GALLAVOTTI, 2021).

O sistema radicular é fasciculado e composto por raízes embrionárias, como a raiz primária e as seminais, e por raízes pós-embrionárias, como as nodais e laterais, cuja organização influencia diretamente a absorção de água e nutrientes, a sustentação da planta e sua resposta às condições do ambiente. Essas características morfoanatômicas estão intimamente relacionadas ao desempenho agrônomo da cultura e à formação dos componentes de rendimento (CHEN; GALLAVOTTI, 2021; DONG ET AL., 2023; HOSTETLER et al., 2024).

O metabolismo fotossintético C4 torna a espécie importante para a agricultura e economia, uma vez que possui um elevado potencial de produção de biomassa e grãos (GONG et al., 2015). Seu ciclo de desenvolvimento compreende fases vegetativa e reprodutiva, sendo fortemente influenciado pelo genótipo e pelas condições ambientais, especialmente temperatura e época de semeadura (Figura 1). Alterações nesses fatores repercutem sobre a duração do ciclo, a expressão morfológica da planta e a formação do rendimento, razão pela qual o conhecimento da fenologia da cultura é essencial para o manejo agrônomo e para a definição de práticas voltadas à eficiência produtiva (GONG et al., 2015; CAO et al., 2024).

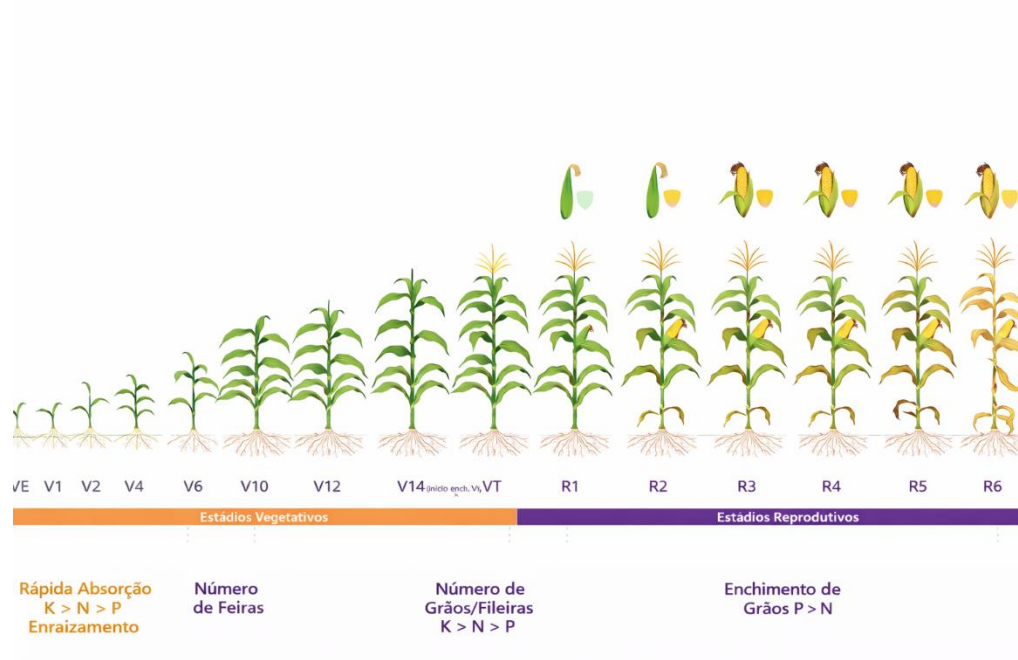


Figura 1 - Estádios de desenvolvimento do milho.

Fonte: Imagem adaptada de Sementes Biomatrix (s/d)

A maturação fisiológica do milho corresponde ao estágio em que os grãos atingem o máximo acúmulo de matéria seca, momento em que a translocação de fotoassimilados da planta para os grãos é praticamente finalizada (DAYNARD; DUNCAN, 1969; LI et al., 2021). Esse estágio é caracterizado visualmente pela formação da camada preta na base do grão, indicando a interrupção do fluxo de nutrientes pelo pedicelo e, a partir desse ponto, o enchimento do grão é considerado concluído razão pela qual a maturidade fisiológica é tomada como referência para estudos de colheita e secagem em campo (DAYNARD; DUNCAN, 1969; FANCELLI, 2000).

Segundo Fancelli (2000), a maturação fisiológica ocorre no estágio fenológico R6, sendo este um dos momentos mais críticos para o manejo da cultura, pois define o ponto ideal para planejamento da colheita e para avaliação

de estratégias que visem a antecipação do ciclo sem prejuízos ao rendimento. O autor destaca que colheitas realizadas antes desse estágio resultam em grãos com menor peso específico e maior teor de umidade, enquanto a permanência excessiva da cultura no campo aumenta o risco de perdas qualitativas.

Entretanto, a maturidade fisiológica não coincide, necessariamente, com o ponto ideal de colheita, uma vez que a umidade do grão ainda permanece relativamente elevada nessa fase e pode variar conforme o genótipo e as condições de cultivo (SALA et al., 2007; LI et al., 2021). Por esse motivo, a permanência da lavoura no campo após a maturidade fisiológica passa a ter como principal finalidade a redução do teor de água dos grãos, sem incremento adicional de matéria seca (LI et al., 2021; ZHAO et al., 2023).

Após a maturação fisiológica, ocorre predominantemente a perda de água dos grãos, processo denominado secagem natural ou “dry down” (GAO et al., 2021; CHAZARRETA et al., 2023). A velocidade desse processo é fortemente influenciada por fatores genéticos e ambientais, como temperatura do ar, radiação solar, disponibilidade hídrica e características morfológicas da palha que envolve a espiga (MAYDICA, 2012; MÜLLER et al., 2011; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Cultivares com característica “stay-green” tendem a apresentar maior permanência de tecidos verdes durante o enchimento e maturação dos grãos, o que pode retardar a senescência foliar e prolongar o ciclo da cultura (CHIBANE et al., 2021). Fancelli (2000) ressalta que, embora essa característica esteja associada à maior tolerância a estresses, ela pode dificultar a colheita antecipada e aumentar os custos de secagem, tornando relevante o uso de

práticas de manejo que acelerem a senescência e a maturação.

Além dos aspectos produtivos, a permanência prolongada da cultura no campo após a maturação fisiológica pode gerar impactos ambientais negativos, como maior risco de lixiviação de nitrato no solo durante o período de entressafra, especialmente em sistemas intensivos de produção (MÜLLER et al., 2011; FANCELLI, 2009), reforçando a importância de estratégias de manejo que permitam maior eficiência no planejamento da colheita.

Essa necessidade se torna ainda mais relevante quando se considera a expressiva importância econômica da cultura do milho, que ocupa posição de destaque no agronegócio brasileiro e mundial. Atualmente, a cultura é fundamental tanto para a alimentação humana quanto animal, além de desempenhar papel estratégico nas cadeias industriais e na produção de biocombustíveis (DORNELES et al., 2023). Dentre os maiores produtores mundiais da cultura, está o Brasil, responsável não apenas pelo consumo interno para alimentação animal e humana, mas também a exportação de grãos em mercados internacionais. Informações obtidas junto ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) demonstram que a área plantada de milho no país em 2024/25 alcançou cerca de 22,3 milhões de hectares, com estimativa de produção próxima a 126 milhões de toneladas, refletindo a importância do país no cenário global (USDA, 2025).

Dados recentes da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) estimam que a produção total de milho no Brasil para a safra 2025/26 será de aproximadamente 138,44 milhões de toneladas, distribuídas entre safra de verão, safrinha e terceira safra. Desse total, a safrinha responde por cerca de

78,9% da produção nacional, seguida pelas demais safras (CONAB, 2026).

Esses números refletem tanto a capacidade de produção quanto os desafios enfrentados pelo setor, em um contexto de demandas crescentes por alimentos e insumos energéticos. A alta capacidade produtiva, aliada à intensificação do manejo agrônomo, coloca em evidência a necessidade de estratégias que coordenem adequadamente o ciclo da cultura, desde o estabelecimento até a colheita, de modo a otimizar a eficiência produtiva e a qualidade final dos grãos (TRAYLOR et al., 2025).

Nesse contexto, o momento da colheita e a maturação fisiológica dos grãos constituem fatores críticos de decisão. De acordo com estudos (SALA et al., 2007; WANG et al., 2012; ZHAO et al., 2023), a umidade dos grãos na maturidade fisiológica e a taxa de desidratação após esse ponto podem variar conforme material genético e ambiente, o que reforça a importância de estratégias de manejo capazes de coordenar adequadamente a maturação e o momento de colheita.

2.2. Reguladores de crescimento vegetal e maturadores químicos: conceitos e aplicações

Os reguladores de crescimento vegetal correspondem a compostos naturais ou sintéticos que, mesmo em baixas doses, interferem em processos metabólicos e de desenvolvimento das plantas, sem exercer função nutritiva propriamente dita (RADEMACHER, 2015).

Em termos fisiológicos, essas substâncias atuam diretamente sobre o estado hormonal do vegetal, seja pelo fornecimento exógeno de hormônios ou de análogos sintéticos, seja pela inibição da biossíntese ou da translocação

hormonal, ou ainda pelo bloqueio de receptores (RADEMACHER, 2015; TAIZ et al., 2017). Por essa razão, seus efeitos não se limitam ao estímulo ou à contenção do crescimento, alcançando processos como germinação, alongamento caulinar, florescimento, frutificação, maturação, senescência e respostas a estresses bióticos e abióticos (SANTNER et al., 2009; WAADT et al., 2022; RADEMACHER, 2015).

Os principais grupos de fitormônios incluem auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abscísico, os quais regulam processos fundamentais como divisão celular, alongamento celular, dominância apical, senescência e respostas a estresses ambientais (DAVIES, 2010). A interação entre esses hormônios ocorre de forma integrada, sendo o equilíbrio entre eles determinante para o desenvolvimento das plantas (DAVIES, 2010; TAIZ et al., 2017). Além dos hormônios clássicos, outros compostos sinalizadores, como brassinosteróides, jasmonatos e ácido salicílico, também participam da regulação do crescimento e das respostas a estresses, ampliando a complexidade do controle fisiológico vegetal (TAIZ et al., 2017).

Além dos compostos naturalmente produzidos pelas plantas, existem reguladores de crescimento obtidos por síntese química. Entre eles se destacam os maturadores químicos, uma classe específica de produtos utilizada para antecipar ou uniformizar a maturação das culturas. Estes constituem uma classe específica de reguladores de crescimento utilizados com o objetivo de antecipar ou uniformizar a maturação das culturas. (CASTRO; KLUGE, 1999). Sua ação está relacionada à modulação do metabolismo vegetal, promovendo a redução do crescimento vegetativo e favorecendo o acúmulo de reservas nos órgãos de

interesse econômico (CASTRO; KLUGE, 1999).

Esses compostos atuam principalmente por meio da alteração do balanço hormonal, incluindo a inibição da biossíntese de giberelinas e a indução da produção de etileno, resultando na aceleração da senescência e na redistribuição de fotoassimilados dentro da planta (RADEMACHER, 2000). Ainda, sua aplicação pode ocasionar a redução da atividade fotossintética e degradação de clorofila, contribuindo para o avanço da maturação fisiológica e para o redirecionamento de carboidratos para estruturas de reserva, como grãos e colmos (TAIZ et al., 2017).

Na agricultura, reguladores de crescimento sintéticos têm sido amplamente utilizados como ferramentas de manejo, permitindo a modificação do desenvolvimento das culturas com objetivos agrônômicos específicos (CASTRO, 1992; DAVIES, 2010; TAIZ et al., 2017). Segundo Castro (1992), esses compostos possibilitam intervenções diretas no crescimento vegetal, contribuindo para o aumento da eficiência produtiva e para a adaptação das plantas às condições ambientais.

No contexto da propagação vegetal, os reguladores de crescimento desempenham papel fundamental, especialmente na indução do enraizamento de estacas. Compostos como o ácido indolbutírico (AIB) são amplamente utilizados para estimular a formação de raízes adventícias, contribuindo para a produção de mudas de melhor qualidade (CUNHA et al., 2005).

Além disso, em sistemas de cultivo in vitro, esses compostos são essenciais para o controle da divisão celular e da diferenciação de tecidos, sendo utilizados na regeneração de plantas e na produção de mudas em larga escala

(MACHADO et al., 2010).

Contudo, entre os principais usos agrônômicos destacam-se o controle do crescimento vegetativo, a indução de florescimento, a melhoria da fixação de frutos, a redução do acamamento e a uniformização do desenvolvimento das plantas, práticas amplamente adotadas em sistemas intensivos de produção (CASTRO; FACHINELLO, 1993).

Neste contexto, os maturadores químicos são utilizados principalmente com o objetivo de reduzir o crescimento vegetativo, acelerar a senescência dos tecidos e redirecionar os fotoassimilados para os órgãos de reserva. Em culturas perenes e semi-perenes, como a cana-de-açúcar, esses produtos são amplamente utilizados para antecipar o acúmulo de sacarose e otimizar o planejamento da colheita (LIMA et al., 2019).

Na cultura do milho, embora ainda não haja recomendações amplamente consolidadas para uso comercial, alguns estudos experimentais têm avaliado o potencial de reguladores de crescimento e maturadores químicos como ferramentas auxiliares na antecipação da colheita e redução da umidade dos grãos (ZAGONEL; FERREIRA, 2013; SILVA; VOLPONI, 2022).

Na cultura da cana-de-açúcar, os maturadores constituem uma aplicação específica desses reguladores e são empregados com a finalidade de favorecer a maturação e antecipar o corte, especialmente quando as condições ambientais não favorecem plenamente a maturação natural, com reflexos positivos sobre o acúmulo de sacarose e a qualidade tecnológica da matéria-prima (LEITE et al., 2008; LEITE et al., 2009).

Entre os compostos mais recorrentes na literatura para essa finalidade

estão ethepnom, trinexapaque-etílico, glifosato, sulfometuron-metil e formulações à base de KNO_3 , cuja eficiência depende da época de aplicação, das condições climáticas e da constituição genética da variedade (LEITE et al., 2008; CAPUTO et al., 2008; DALLEY E RICHARD JR., 2010). Além disso, há evidências de que os maturadores podem promover supressão do crescimento vegetativo e reduzir a demanda dos drenos por sacarose, favorecendo seu acúmulo nos colmos; em condições de campo, isso tem sido associado à melhoria da qualidade tecnológica e, em várias situações, ao aumento da produtividade de açúcar, embora os efeitos sobre a produtividade de colmos não sejam uniformes entre produtos, genótipos e safras (VAN HEERDEN et al., 2015; LEITE et al., 2009; SILVA et al., 2007; CAPUTO et al., 2008).

Em culturas anuais, como o milho, pesquisas indicam potencial para o uso de reguladores de crescimento e maturadores na antecipação da colheita e na redução da umidade dos grãos, contribuindo para maior eficiência da colheita mecanizada (ZAGONEL; FERREIRA, 2013). Entretanto, a resposta das plantas à aplicação desses compostos depende de fatores como estágio fenológico, dose aplicada, condições ambientais e características genéticas da cultura. Aplicações inadequadas podem comprometer o enchimento de grãos e reduzir o rendimento final (SILVA; VOLPONI, 2022). Ainda, fatores ambientais como temperatura, disponibilidade hídrica e radiação solar influenciam diretamente a eficiência dos reguladores de crescimento, afetando o metabolismo vegetal e a absorção dos produtos aplicados (EMBRAPA, 2022).

Dessa forma, o uso de reguladores de crescimento e maturadores químicos deve ser baseado em critérios técnicos bem definidos, considerando a

interação entre planta, ambiente, manejo e tipo de produto empregado para antecipação da colheita, sendo uma importante estratégia para a otimização dos sistemas produtivos (TAIZ et al., 2017).

2.3. Trinexapaque-etílico como maturador químico

O trinexapaque-etílico é um regulador de crescimento sintético pertencente ao grupo das acilciclohexanodionas, utilizado principalmente em gramíneas para restringir o crescimento longitudinal da parte aérea. Uma vez absorvido pelas folhas, o trinexapaque-etílico é rapidamente translocado nos tecidos vegetais e interfere nas etapas finais da via metabólica responsável pela formação dessas giberelinas (RADEMACHER, 2016).

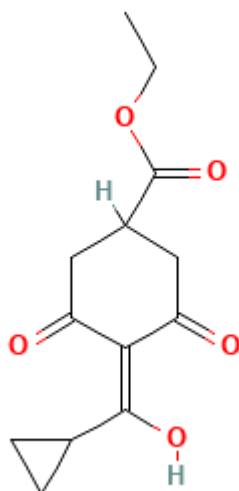


Figura 1 - Fórmula química da molécula sintética Trinexapaque-etílico

Fonte: National Center for Biotechnology Information (NCBI): PubChem Compound Summary for CID 92421, Trinexapac-ethyl (2026).

Seu efeito fisiológico decorre da inibição de dioxigenases dependentes de 2-oxoglutarato envolvidas nas etapas finais da biossíntese de giberelinas, especialmente na 3 β -hidroxilação, o que reduz a formação de giberelinas

influenciar a redistribuição de fotoassimilados, favorecendo o acúmulo de reservas em estruturas reprodutivas (ZHANG et al., 2014). Segundo Zhang et al. (2014), a aplicação de reguladores de crescimento pode resultar em melhorias na eficiência do uso de recursos pela planta, refletindo em incrementos de produtividade, especialmente quando associada a condições adequadas de manejo, como densidade de plantas e nutrição.

No milho, os estudos disponíveis indicam que a resposta ao trinexapaque-etílico depende do estágio fenológico de aplicação, do material genético e das condições de cultivo. Em experimento de campo, Leolato et al. (2017) verificaram que aplicações em V5 e V10 reduziram o comprimento do colmo acima do nó de inserção da espiga, mas não promoveram aumento no rendimento de grãos em populações mais elevadas, bem como Sangoi et al. (2020) relataram redução do comprimento dos entrenós superiores e da massa de mil grãos, sem incremento da produtividade. Em condições de casa de vegetação, Mendes Fagherazzi et al. (2018) observaram redução da altura das plantas e alterações no tempo até o pendoamento, além de respostas distintas entre os genótipos avaliados.

Assim, no milho, o interesse no uso do trinexapaque-etílico está associado principalmente à sua capacidade de modular o crescimento vegetativo e a arquitetura das plantas, o que sustenta sua avaliação experimental em estudos voltados à dinâmica de desenvolvimento da cultura (LEOLATO et al., 2017; MENDES FAGHERAZZI et al., 2018; SANGOI et al., 2020).

O crescimento excessivo das plantas pode comprometer a estabilidade do dossel e a eficiência fotossintética, sobretudo em sistemas de alta densidade de semeadura (ZHANG et al., 2014). Nesse contexto, a aplicação de trinexapac-

etilico pode promover modificações na arquitetura vegetal, favorecendo uma distribuição mais equilibrada dos assimilados e, conseqüentemente, podendo possivelmente contribuir para o incremento da produtividade de grãos (ZHANG et al., 2014; RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, 2021). Contudo, os efeitos ocasionados pela sua aplicação ainda necessitam maior comprovação experimental para a cultura do milho.

2.4. Ethephon como maturador químico

O ethephon (ácido 2-cloroetilfosfônico) é um regulador de crescimento vegetal amplamente utilizado na agricultura como fonte exógena de etileno e como agente de modulação do desenvolvimento das plantas (TAIZ et al., 2017). Após sua absorção pelos tecidos vegetais, esse composto é rapidamente degradado, liberando etileno, fosfato e cloreto, sendo o etileno o principal responsável pelos efeitos fisiológicos observados (TAIZ et al., 2017). Em razão desse mecanismo de ação, o ethephon está associado à regulação de processos como maturação, senescência e crescimento vegetal, uma vez que o etileno atua de forma central nessas respostas fisiológicas (DAVIES, 1987; TAIZ ., 2017).

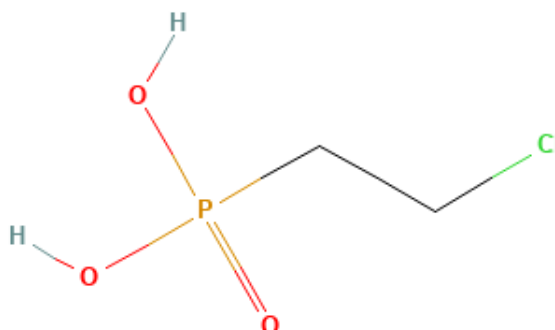


Figura 4 – Fórmula química da molécula sintética do produto Ethephon.

Fonte: National Center for Biotechnology Information: PubChem Compound Summary for CID 27982, Ethephon (2026).

Diferentemente do ethil-trinexapac, cuja ação está associada à inibição da biossíntese de giberelinas, o ethephon atua por meio do aumento da disponibilidade de etileno nos tecidos vegetais, o que lhe confere um modo de ação distinto na modulação do desenvolvimento das plantas (TAIZ et al., 2017). Por essa razão, sua aplicação tem sido utilizada em diferentes contextos agrônômicos, especialmente quando se busca interferir na maturação ou modificar características associadas ao crescimento e à arquitetura vegetal (DAVIES, 1987; DUBOIS; VAN DEN BROECK; INZÉ, 2018).

O etileno liberado a partir da aplicação de ethephon atua como um importante sinalizador hormonal, participando da regulação de diferentes processos metabólicos e fisiológicos nas plantas, como amadurecimento de frutos, senescência foliar, abscisão de órgãos e modificações no crescimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2017). Sua ação ocorre por meio da ativação de vias de sinalização celular que modulam a expressão de genes relacionados ao

desenvolvimento e às respostas fisiológicas da planta, o que evidencia seu papel central na coordenação de eventos associados ao ciclo de vida vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2017).

No contexto agrícola, esse mecanismo confere ao ethephon importância prática no manejo do desenvolvimento das culturas, sobretudo em situações em que se busca favorecer a maturação e o acúmulo de reservas. Em culturas como a cana-de-açúcar, por exemplo, o aumento da concentração de etileno nos tecidos vegetais pode restringir o crescimento vegetativo e favorecer o acúmulo de sacarose nos colmos, contribuindo para a melhoria da qualidade tecnológica da matéria-prima destinada ao processamento industrial (CASTRO; KLUGE, 1999).

Além de seus efeitos diretos, o etileno também interage com outros fitormônios, como giberelinas e auxinas, modificando o equilíbrio hormonal das plantas (DAVIES, 1987; TAIZ; ZEIGER, 2017). Essa interação exerce papel relevante na regulação do crescimento e do desenvolvimento vegetal, uma vez que pode resultar em alterações na arquitetura das plantas e na distribuição de assimilados, com reflexos sobre a dinâmica de crescimento e sobre o desempenho fisiológico da cultura (DAVIES, 1987; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Na cultura do milho, a utilização de ethephon tem sido investigada principalmente em função de seus efeitos sobre a dinâmica de maturação e a redução do teor de umidade dos grãos. Estudos indicam que a aplicação desse regulador pode favorecer a antecipação da maturidade fisiológica e influenciar o processo de “dry-down” (perda de água dos grãos no campo), aspecto fundamental para a colheita mecanizada e a qualidade final da produção (GAO

et al., 2021; ZHAO et al., 2023).

Além disso, a resposta do milho à aplicação de ethephon está diretamente relacionada a fatores como estágio fenológico no momento da aplicação, condições ambientais e características genéticas dos híbridos, influenciando o desempenho agrônomo e a qualidade dos grãos produzidos (LI et al., 2021; CHAZARRETA et al., 2023). Ainda, a aplicação de ethephon tem sido estudada com o objetivo de acelerar o encerramento do ciclo fisiológico da planta, promover a senescência dos tecidos vegetativos e reduzir o teor de umidade dos grãos (SILVA; VOLPONI, 2022).

Silva e Volponi (2022) verificaram que aplicações de ethephon realizadas entre 70 e 90 dias após a semeadura do milho proporcionaram redução significativa da umidade dos grãos no momento da colheita, sem comprometer a produtividade. Os autores destacam que a eficiência do produto está diretamente relacionada à dose e ao estágio fenológico de aplicação.

Segundo Taiz et al. (2017) e Lima et al. (2019), o etileno liberado pelo ethephon pode influenciar a redistribuição de fotoassimilados, aumentar a atividade respiratória e acelerar processos de degradação de clorofila, favorecendo a senescência foliar e o avanço da maturação fisiológica, conforme observado em estudos conduzidos em outras culturas agrícolas.

Entretanto, doses excessivas ou aplicações precoces podem resultar em efeitos indesejáveis, como redução do enchimento de grãos e queda de produtividade, evidenciando a necessidade de manejo criterioso e embasado cientificamente para o uso desse regulador na cultura do milho (SILVA; VOLPONI, 2022).

2.5. Considerações gerais

A utilização de maturadores químicos na cultura do milho apresenta potencial como ferramenta de manejo para antecipação da colheita, redução da umidade dos grãos e otimização dos sistemas produtivos, especialmente em regiões sujeitas a riscos climáticos no final do ciclo. A compreensão aprofundada da fenologia do milho, conforme descrita por Fancelli (2000), é fundamental para o uso racional desses produtos, uma vez que sua eficiência está diretamente relacionada ao estágio de desenvolvimento da cultura no momento da aplicação.

Entretanto, a literatura disponível ainda apresenta resultados variáveis, indicando que a eficiência dos maturadores químicos depende do regulador utilizado, da dose aplicada, do estágio fenológico, do híbrido e das condições ambientais. Fancelli (2009) ressalta que práticas de manejo inadequadas, especialmente relacionadas à nutrição e ao equilíbrio fisiológico da planta, podem limitar a resposta a qualquer tecnologia empregada, incluindo reguladores de crescimento.

Dessa forma, torna-se imprescindível a realização de novos estudos que integrem os conhecimentos clássicos de fisiologia e manejo do milho, amplamente discutidos por Fancelli, com pesquisas recentes sobre maturadores químicos, visando estabelecer recomendações técnicas seguras, eficientes e economicamente viáveis para sua adoção em escala comercial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado e conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), localizada na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias

- UNESP, no município de Jaboticabal - SP (21°15'22"S, 48°18'58"W), O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro distrófico A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado (ANDRIOLLI E CENTURION, 1999).

Antecedendo o experimento, foi realizada uma análise química (Tabela 1) de uma amostra composta do solo onde o experimento iria ser conduzido. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-20 cm e, de acordo com os resultados obtidos na análise (Tabela 1), foram realizadas as correções necessárias com a aplicação de NPK na dose de 300 kg/ha do formulado 08-28-16, e na cobertura de 200 kg de ureia por hectare.

Tabela 1 - Análise química de uma amostra composta de solo da área experimental

Prof.	pH	MO	P	S	Ca	Mg	Na	K	Al	H+Al	SB	CTC	V	Sat	Al
(cm)	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						% m%					
0-20	5,9	19	35	8	28	14	ns	3,4	0	29	45,5	74,2	61	0	

3.1. Descrição experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 5×4, sendo cinco produtos (incluindo uma testemunha sem produto) combinados com quatro épocas de aplicação (Tabela 1), totalizando 20 tratamentos experimentais com 4 repetições em um total de 80 parcelas. As doses foram definidas com base nas recomendações comerciais para trigo, cevada e cana-de-açúcar, uma vez que não há recomendações específicas para a cultura do milho.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos experimentais

PRODUTO	Época de aplicação (DAS)				Doses	
	70	80	90	100	g i.a. ha ⁻¹	L p.c. ha ⁻¹
1 Testemunha	----	----	----	----	----	----
2 Trinexapaque-etílico	X	X	X	X	300	1,2
3 Trinexapaque-etílico	X	X	X	X	150	0,6
4 Ethephon	X	X	X	X	480	2,0
5 Ethephon	X	X	X	X	240	1,0

Descrição dos produtos

- Moddus® (Ingrediente ativo: trinexapaque-etílico)

Composição: 25% m/v (250 g L⁻¹) de trinexapaque-etílico; 4 ciclopropil (hidróxi) metileno 3,5dioxociclohexanocarboxilato de etila + 75% m/v ingredientes inertes e adjuvantes.

- Ethrel® (Ingrediente ativo: ethephon)

Composição: 240 g L⁻¹ (24% m/v) 2-chloroethylphosphonic acid (etefom) + 865 g L⁻¹ (86,5% m/v) ingredientes inertes.

3.2. Implementação e execução do experimento

A semeadura da cultivar DKB 390 PRO4 foi realizada em 28 de novembro de 2024, levando-se em consideração a época de semeadura do milho para o Estado de São Paulo (EMBRAPA, 2021). Cada parcela foi composta por quatro

linhas de semeadura com seis metros de comprimento e espaçamento entre linhas de semeadura de 0,90 m, descontando-se 0,5 m de cada extremidade, sendo as duas linhas centrais da parcela consideradas como úteis. Em cada época de aplicação foi verificado o estágio fenológico que o milho se encontrava, de acordo com Ritchie et al. (1993). A adubação de cobertura foi realizada em uma aplicação no estágio fenológico V4, utilizando-se 200 kg ha⁻¹ de ureia.

Após quinze dias da semeadura (DAS) do milho foi determinado o estande de plantas na área, sendo obtido um total de seis plantas por metro. Aos 25 DAS, em V04, foi aplicada atrazina (4,5L p.c. ha⁻¹) para controle das plantas daninhas, juntamente com bifentrina (300g p.c. ha⁻¹) para controle de cigarrinha do milho, a qual se repetiu a cada 7 dias para melhor controle.

Os maturadores químicos foram aplicados no período da manhã, iniciando-se aos 70 dias após a semeadura (DAS). No momento da aplicação aos 70 DAS, as condições climáticas apresentavam céu nublado, temperatura de 23,0 °C, umidade relativa do ar de 72% e velocidade do vento de aproximadamente 9 km/h, e o estágio fenológico R2 (Grão bolha d'água). Aos 80 DAS, sob céu parcialmente nublado, registrou-se temperatura média de 25,0 °C, umidade relativa de 66% e ventos de 7 km/h e o estágio fenológico em R3 (Grão leitoso). Já aos 90 DAS, as aplicações ocorreram em condição de céu parcialmente nublado, temperatura de 23,0 °C, umidade relativa do ar de 60% e velocidade do vento de 11 km/h e seu estágio fenológico em R4 (Grão pastoso). Aos 100 DAS, também sob céu parcialmente nublado, observou-se temperatura média de 24,0 °C, umidade relativa de 51% e ventos em torno de 8 km/h e o estágio fenológico em R5 (Formação de dente).

Para a aplicação dos reguladores de crescimento foi utilizado um pulverizador costal pressurizado por CO₂, munido de barra com quatro pontas tipo leque (TTJ60- 11002 VP) espaçadas em 0,5m entre elas, operando a 2,3 kgf cm⁻² de pressão e trabalhando com volume de calda correspondente a 200 L ha⁻¹, com deslocamento a 1 m s⁻¹, barra a 0,5 metro de altura em relação ao alvo.

A Figura 5 apresenta a distribuição da precipitação pluvial e das temperaturas máxima e mínima registradas durante o período de condução do experimento, organizadas em intervalos de aproximadamente 10 dias (1–10, 11–20 e 21–30/31) de cada mês. O plantio do milho foi realizado em novembro de 2024, período que apresentou precipitação expressiva no primeiro decêndio, favorecendo o estabelecimento inicial da cultura.

Durante os meses de dezembro de 2024 e janeiro de 2025, fase correspondente ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura, bem como à realização dos tratos culturais, observou-se boa disponibilidade hídrica, com maiores volumes de precipitação concentrados principalmente no terceiro decêndio desses meses. As aplicações dos reguladores de crescimento (maturadores) foram realizadas entre os meses de janeiro e fevereiro de 2025, quando as temperaturas máximas permaneceram relativamente estáveis, variando em torno de 30 a 33 °C, enquanto as temperaturas mínimas oscilaram próximas de 20 °C, condições favoráveis ao desenvolvimento fisiológico da cultura.

As colheitas tiveram início em fevereiro e se estenderam até março de 2025, sendo realizadas em intervalos de 10 dias. Nesse período, observou-se redução gradual da precipitação, especialmente em março, característica

comum do final do ciclo da cultura, proporcionando condições mais adequadas para a colheita e para a avaliação dos tratamentos.

Dados referentes a pluviometria e temperatura da região no período que o experimento foi realizado encontram-se descritos na Figura 5. Os elementos meteorológicos utilizados neste trabalho, foram extraídos de um conjunto de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas.

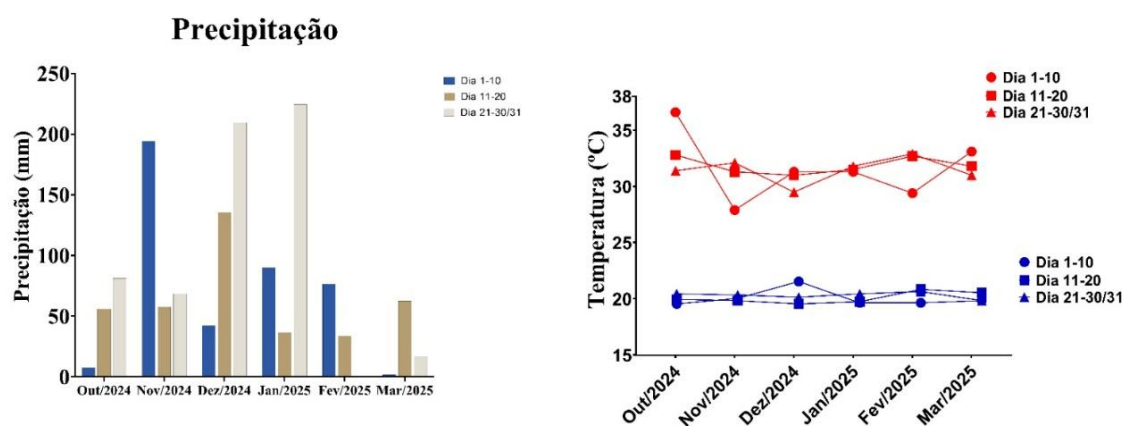


Figura 5 - Dados da precipitação (mm) e temperatura (°C) durante o período de outubro de 2024 a março de 2025 para a região de Jaboticabal-SP.

3.3. Variáveis analisadas

As colheitas foram realizadas manualmente aos 80, 90, 100 e 110 dias após a semeadura (DAS), utilizando-se as espigas coletadas na área útil de cada parcela para a determinação dos componentes de produtividade, nos quais foram avaliadas as seguintes características:

- a) Diâmetro do colmo;
- b) Altura de inserção da primeira espiga;

- c) Diâmetro médio da espiga (DME) e comprimento médio da espiga (CME): medidas realizadas em todas as espigas colhidas na parcela, com o diâmetro expressado em mm e o comprimento em cm;
- d) Número de linhas de grãos da espiga;
- e) Massa de 100 grãos (MG): medida após a colheita utilizando-se uma amostra 100 grãos da parcela obtidos após a debulha;
- f) Massa de sabugo produzida (MSP): avaliada após a debulha considerando a massa de sabugo produzida pela parcela útil e expressa em kg/ha^{-1} ;
- g) Produtividade de grãos (PG): obtida pela massa dos grãos de cada parcela após a debulha e expressa em kg/ha^{-1} ;
- h) Grau de umidade dos grãos: amostrado em quatro momentos aos 80, 90, 100 e 110 DAS e realizado através do método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas utilizando-se a Regras para análise de sementes (BRASIL, 2009).

3.4. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial duplo 5×4 , considerando como fatores os produtos (controle, trinexapaque-etílico e ethephon em duas doses, conforme descrito anteriormente) e as épocas de aplicação (70, 80, 90 e 100 DAS). Quando constatado efeito significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Agroestat (BARBOSA MALDONADO, 2015). Para gerar os gráficos foi utilizado o programa estatístico GraphPad Prism 9.3.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variáveis diâmetro do colmo (Figura 6 A-B), altura de inserção da primeira espiga (Figura 6 C-D) e comprimento da espiga (Figura 6 E-F) não apresentaram diferenças significativas entre tratamentos nem das épocas de aplicação quando comparadas ao controle, demonstrando também ausência de interação entre os fatores analisados.

De modo geral, os valores permaneceram próximos entre si em todas as condições avaliadas: diâmetro do colmo (2,97 cm), inserção da primeira espiga (73,2 cm) e comprimento da espiga (16,5 cm), indicando que os produtos aplicados, as doses testadas e as épocas de aplicação não promoveram alterações significativas nos caracteres morfológicos do milho.

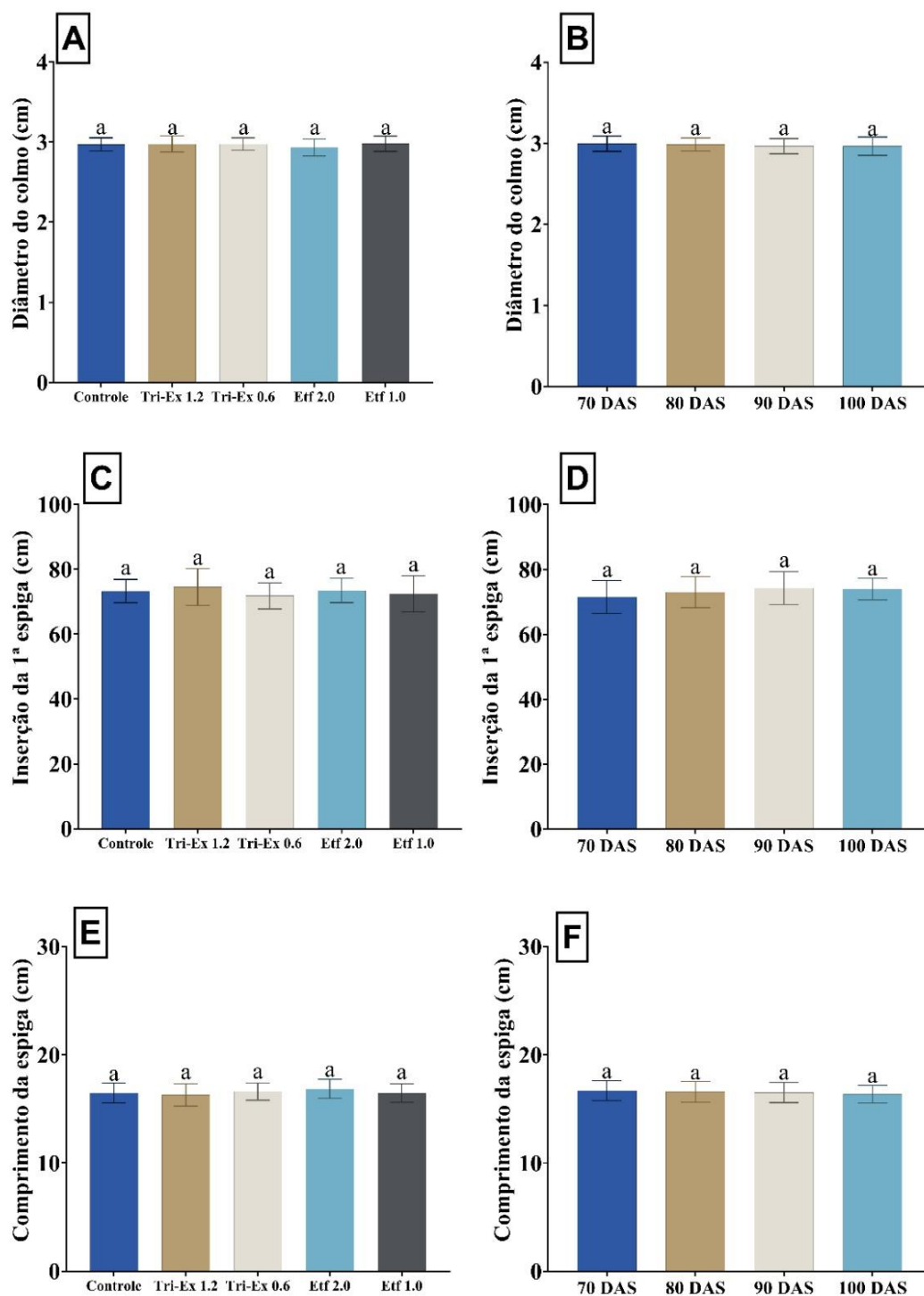


Figura 6 - Diâmetro do colmo (A-B), altura de inserção da primeira espiga (C-D) e comprimento da espiga (E-F) em resposta aos produtos e às épocas de aplicação. A, C e E demonstram os tratamentos Controle, Tri-Ex 1.2, Tri-Ex 0.6, Etf 2.0 e Etf 1.0; B, D e F, as épocas de aplicação

aos 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS)

Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras representam o desvio-padrão.

Na literatura, a resposta do milho aos reguladores de crescimento não é uniforme. Zhang et al. (2019) verificaram que a aplicação de ethepnom reduziu a altura de inserção da espiga e aumentou o diâmetro dos internódios basais. Em milho tratado com trinexapaque-etílico, Pricinotto et al. (2019) também observaram redução da altura de inserção da espiga. Por outro lado, Oliveira et al. (2022) relataram que a aplicação de trinexapaque-etílico em V9 modificou a arquitetura da planta sem alterar o comprimento da espiga nem a produtividade de grãos, demonstrando uma variação nos efeitos e respostas observadas.

De forma semelhante, Garcia (2014) verificou que a aplicação de etil-trinexapac e ethepnom em milho não alterou significativamente a massa de 100 grãos, o diâmetro e o comprimento médio das espigas, porém influenciou a produtividade e o grau de umidade dos grãos, dependendo da dose e da época de aplicação. O autor observou que aplicações realizadas aos 90 dias após a semeadura, na dose de 0,6 L p.c. ha⁻¹, proporcionaram antecipação da colheita em até sete dias, sem prejuízos à produtividade do milho.

Esses resultados podem estar relacionados ao fato da aplicação dos maturadores químicos terem ocorrido quando o milho já estava no período de plena floração. Para a cultura do milho, o estágio V4 é de importante decisão biológica definindo nesse momento todo o potencial produtivo, determinando o número de espigas, fileiras e grãos que poderá formar ao longo do ciclo (FANCELLI, DOURADO, 2004). Assim, qualquer alteração ou distúrbio ao sistema fisiológico, como exposição à estresses, poderia ocasionar resultados

não favoráveis ao desenvolvimento e produtividade do milho, o que justificaria a ausência de resultados significativos nessas variáveis analisadas.

Para a variável diâmetro da espiga (Figura 7), a análise de variância não indicou efeito significativo dos tratamentos aplicados, o que demonstra que essa característica se manteve estável diante das diferentes substâncias e doses testadas, com valor médio de 47,9 mm. Em contraste, foi observado efeito significativo das épocas de aplicação, com redução do diâmetro da espiga aos 90 dias após a semeadura (DAS) em comparação às demais épocas avaliadas. Os resultados evidenciam que a época de aplicação foi o principal fator associado às diferenças observadas no diâmetro da espiga, enquanto os tratamentos não promoveram alterações significativas nessa variável. Contudo, esse efeito isolado não foi acompanhado por alterações significativas nos demais componentes avaliados da espiga, indicando que a redução observada aos 90 DAS foi pontual e insuficiente para promover mudanças mais amplas no desempenho agrônomo da cultura.

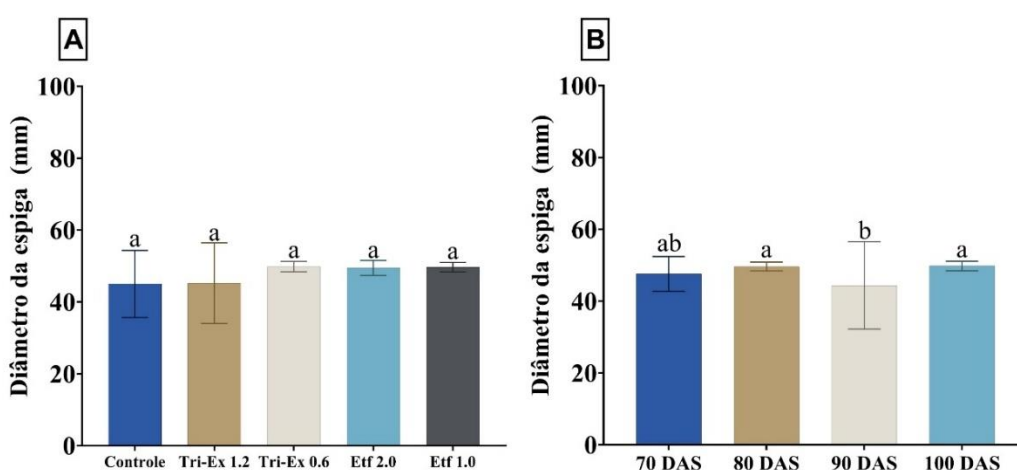


Figura 7 - Diâmetro da espiga (mm) em função dos produtos e das épocas de aplicação. (A) Efeito dos tratamentos: Controle, Trinexapaque-etílico 1,2 L ha⁻¹ (Tri-Ex 1.2), Trinexapaque-etílico 0,6 L ha⁻¹ (Tri-Ex 0.6), Etefom 2,0 L ha⁻¹ (Etf 2.0) e Etefom 1,0 L ha⁻¹ (Etf 1.0). (B) Efeito

das épocas de aplicação: 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS)

Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras representam o desvio-padrão.

Essa observação é compatível com resultados relatados na literatura, que mostram que a resposta do milho a reguladores de crescimento pode depender do estágio fenológico em que a aplicação é realizada. Oliveira et al. (2022) verificaram que a época de aplicação de trinexapaque-etílico alterou o desempenho agrônomo do milho, evidenciando que o efeito desses compostos pode variar conforme o momento de aplicação. De forma semelhante, Barbosa et al. (2019) observaram que a resposta de características agrônomicas e componentes de rendimento do milho a reguladores de crescimento variou em função da época de semeadura, do genótipo e do regulador utilizado, reforçando a importância do contexto fisiológico e ambiental na expressão dessas respostas.

Assim como nas variáveis morfológicas discutidas anteriormente, o número de linhas por espiga, a massa de 100 grãos e a massa do sabugo (Figuras 8 A-E) também não apresentaram diferenças significativas em resposta aos tratamentos nem às épocas de aplicação, bem como entre a interação dos fatores, apresentando valores médios de 17 fileiras, 32,6 g, 32 g respectivamente. Em conjunto, esses resultados indicam que o uso dos reguladores e maturadores testados, nas doses e épocas avaliadas, não alterou de forma consistente a organização dos grãos na espiga, o enchimento dos grãos ou a massa da estrutura do sabugo.

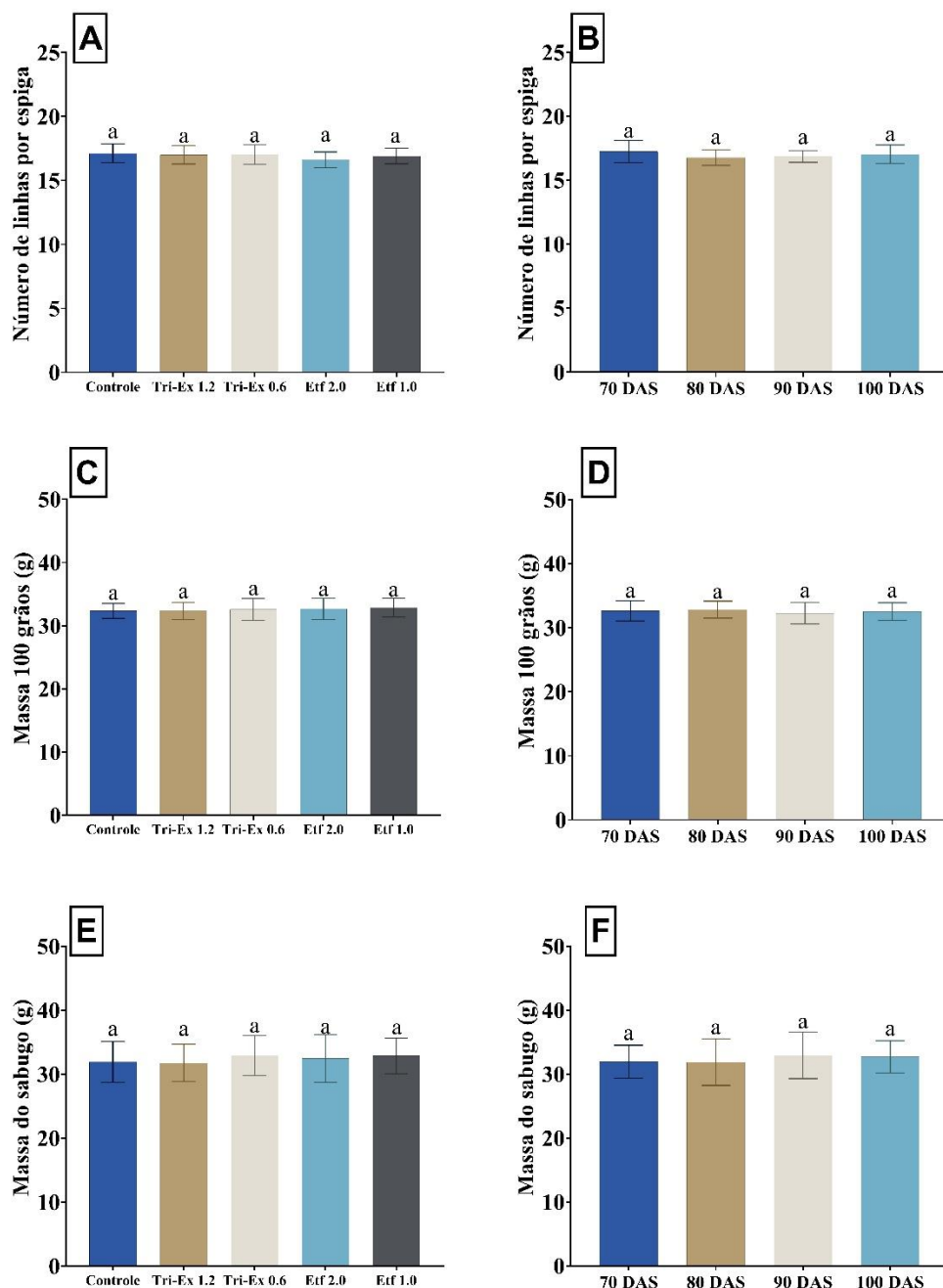


Figura 8 - Número de linhas por espiga (A-B), massa de 100 grãos (C-D) e massa do sabugo (E-F) em resposta aos produtos e às épocas de aplicação. Em A, C e E estão os tratamentos Controle, Tri-Ex 1.2, Tri-Ex 0.6, Etf 2.0 e Etf 1.0; em B, D e F, as épocas de aplicações.

Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras representam o desvio-padrão.

Em milho tratado com trinexapaque-etílico, Pricinotto et al. (2021) observaram que o regulador não alterou o número de fileiras de grãos por espiga, mas pôde modificar outros componentes de rendimento, como o comprimento da espiga, o número de grãos por fileira e a massa de 1000 grãos. De modo semelhante, Oliveira et al. (2021) verificaram que a época de aplicação de trinexapaque-etílico não afetou o número de grãos por espiga nem o comprimento da espiga, embora tenha reduzido a massa de 100 grãos quando aplicada em V9.

Por outro lado, Zhang et al. (2014) relataram aumento no número de grãos por espiga e na massa de 1000 grãos com a aplicação de uma mistura de ethepnom e diethyl aminoethyl hexanoate, enquanto Zou et al. (2024) verificaram incremento na massa de 1000 grãos sem efeito significativo sobre o número de grãos por espiga. Assim, a ausência de resposta observada no presente estudo sugere que, nas condições experimentais avaliadas, esses componentes apresentaram baixa sensibilidade às intervenções realizadas, sem evidências de alteração mensurável na formação ou no enchimento das espigas, o que sugere uma variação nas respostas de acordo com o produto utilizado, época de aplicação e diferenças genéticas entre cultivares.

Em relação aos dados de produtividade, também não foram observadas alterações significativas. A produtividade de grãos por espiga (Figura 9) e a produtividade final da cultura (Figura 10) não apresentaram diferenças significativas em função dos tratamentos nem das épocas de aplicação, com valores médios de 191 g e 6373,0 kg respectivamente. Embora tenham sido observadas pequenas variações numéricas entre as médias, essas diferenças

não foram confirmadas pela análise estatística. Em conjunto, os resultados indicam que os produtos avaliados, nas doses e épocas testadas, não promoveram incremento na produção de grãos por espiga nem na produtividade expressa em kg ha^{-1} , evidenciando que o desempenho produtivo da cultura se manteve estável nas condições do presente estudo.

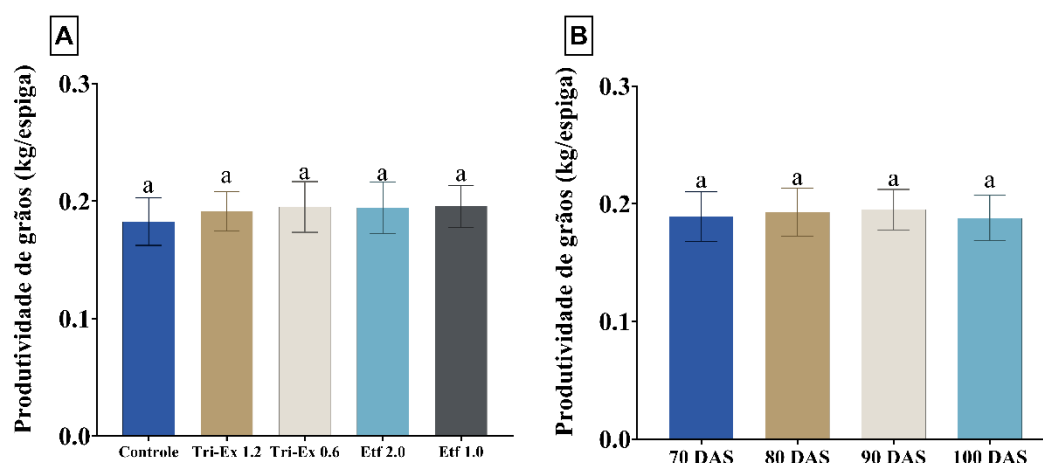


Figura 9 - Produtividade de grãos por espiga (kg/espiga) em função dos produtos e das épocas de aplicação. (A) Efeito dos tratamentos: Controle, Trinexapaque-etílico $1,2 \text{ L ha}^{-1}$ (Tri-Ex 1.2), Trinexapaque-etílico $0,6 \text{ L ha}^{-1}$ (Tri-Ex 0.6), Etefom $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ (Etf 2.0) e Etefom $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ (Etf 1.0). (B) Efeito das épocas de aplicação: 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS).

Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras representam o desvio-padrão.

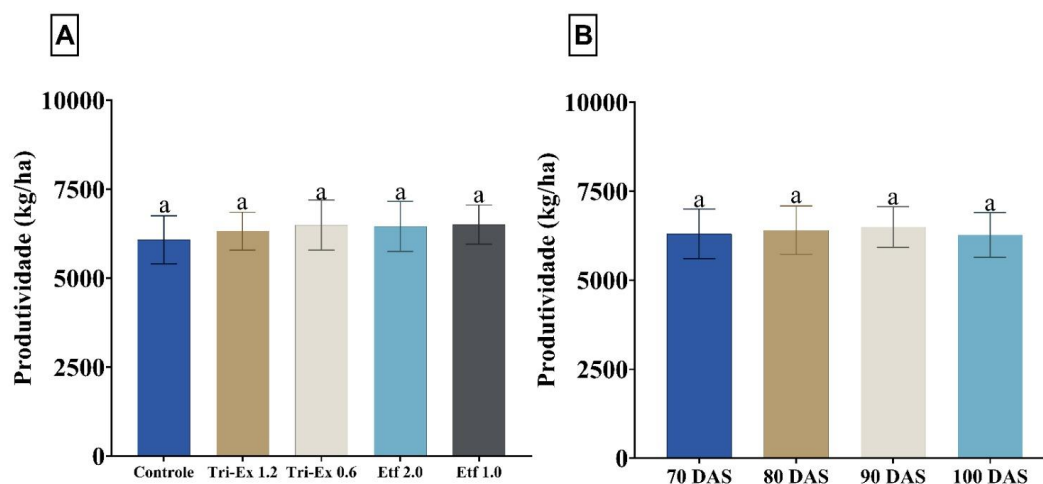


Figura 10 - Produtividade total (kg/ha) em função dos produtos e das épocas de aplicação. (A) Efeito dos tratamentos: Controle, Trinexapaque-etílico 1,2 L ha⁻¹ (Tri-Ex 1.2), Trinexapaque-etílico 0,6 L ha⁻¹ (Tri-Ex 0.6), Etefom 2,0 L ha⁻¹ (Etf 2.0) e Etefom 1,0 L ha⁻¹ (Etf 1.0). (B) Efeito das épocas de aplicação: 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS).

Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras representam o desvio-padrão.

Esse comportamento é compatível com parte da literatura sobre o uso de reguladores de crescimento em milho. Leolato et al. (2017) verificaram que a aplicação de trinexapaque-etílico não afetou a produtividade de grãos, apesar de ter promovido alterações em características morfológicas da cultura. De forma semelhante, Oliveira et al. (2021) relataram que a aplicação de trinexapaque-etílico em V9 modificou a arquitetura das plantas, mas não alterou a produtividade de grãos. Por outro lado, Geng et al. (2022) observaram que a aplicação de ethepnom em milho cultivado sob alta densidade reduziu o acamamento e aumentou a produtividade de grãos, com ganho de 8,0% em relação ao controle na condição de 90.000 plantas ha⁻¹.

A análise do teor de umidade dos grãos (Figura 11) indicou interação significativa entre os fatores tratamentos e épocas de aplicação apresentando média de umidade de 23,1%. No entanto, o desdobramento dessa interação não

evidenciou diferenças estatísticas entre as épocas dentro de cada tratamento nem entre os tratamentos dentro de cada época avaliada. Embora o tratamento com trinexapaque-etílico na dose de $1,2 \text{ L ha}^{-1}$, aplicado aos 90 DAS, tenha apresentado numericamente menor teor de umidade dos grãos, com redução aproximada de 24,5% para 22,0%, esse valor não diferiu estatisticamente das demais combinações analisadas.

Assim, apesar da interação detectada na análise de variância, os resultados não permitem afirmar que houve redução consistente da umidade dos grãos em função do produto, da dose ou do momento de aplicação

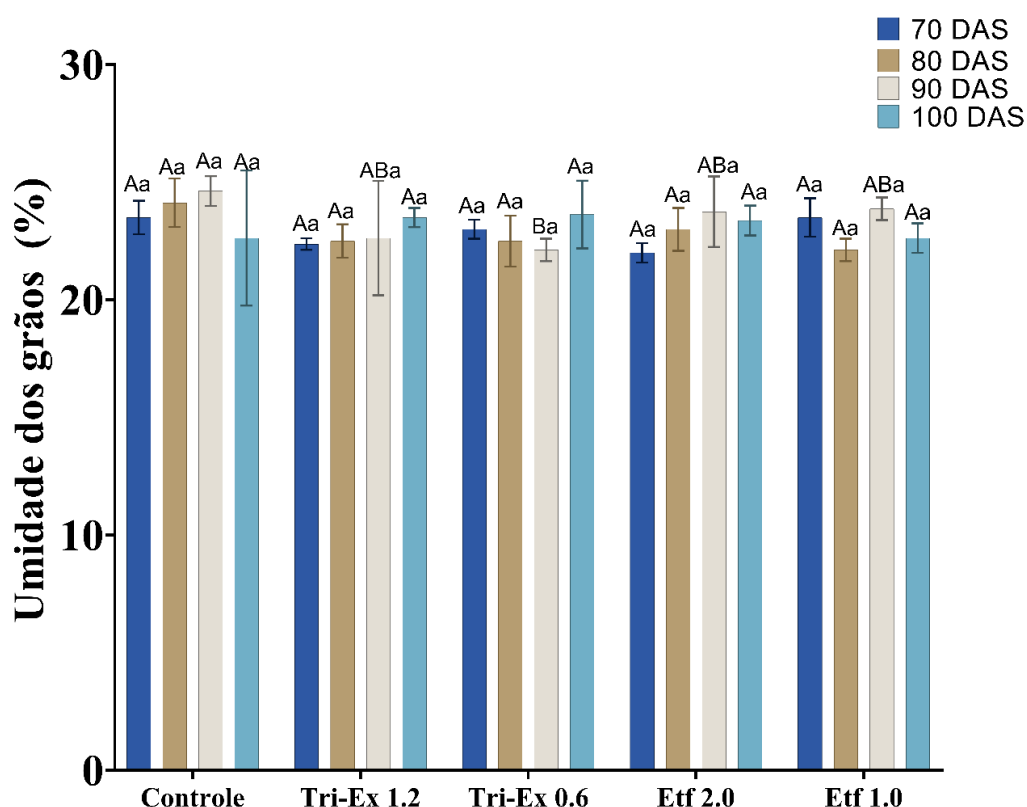


Figura 11 - Umidade dos grãos (%) em função dos produtos e das épocas de aplicação. (A) Efeito dos tratamentos: Controle, Trinexapaque-etílico $1,2 \text{ L ha}^{-1}$ (Tri-Ex 1.2), Trinexapaque-etílico $0,6 \text{ L ha}^{-1}$ (Tri-Ex 0.6), Etefom $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ (Etf 2.0) e Etefom $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ (Etf 1.0). (B) Efeito

das épocas de aplicação: 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura (DAS).

Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras representam o desvio-padrão. Barras seguidas de letras maiúsculas comparam época dentro de um mesmo tratamento. Barras seguidas de letras minúsculas comparam o tratamento dentro da dose.

Conforme observado por Garcia (2014), a aplicação de maturadores em diferentes épocas promoveu oscilações no teor de umidade dos grãos de milho, indicando possível interação com o estágio fenológico da cultura. Essa variação pode ser explicada, em parte, pelos efeitos fisiológicos desses produtos. De acordo com Rademacher (2000), substâncias como o trinexapaque-etílico atuam inibindo a biossíntese de giberelinas, o que reduz o crescimento vegetativo e pode alterar processos como a taxa de transpiração, enchimento de grãos e tempo de maturação, influenciando, assim, o teor final de umidade dos grãos.

Ao observar o comportamento da umidade ao longo do tempo dentro de alguns tratamentos específicos, nota-se variações relevantes. Em tratamentos como Tri-Ex 1.2, Etf 2.0 e Etf 1.0, a umidade dos grãos oscilou entre as épocas de aplicação. Isso pode indicar que esses produtos têm interação com o estágio fenológico da cultura, influenciando indiretamente o teor de umidade. É possível que o momento de aplicação interfira na fisiologia da planta, afetando, por exemplo, a taxa de transpiração, enchimento de grãos ou tempo de maturação.

Por outro lado, o comportamento mais estável da umidade no tratamento controle, Tri-Ex 0.6 e Etf 1.0 ao longo das épocas, pode sugerir uma menor dosagem à variação temporal. Isso pode ser vantajoso do ponto de vista de padronização da colheita, já que a constância da umidade está associada a menor necessidade de secagem e menor risco de perdas pós-colheita.

Esse comportamento reforça a hipótese de que a resposta aos maturadores químicos depende não apenas do produto aplicado, mas também da interação com as condições ambientais e com o estágio fisiológico da cultura no momento da aplicação. Conforme destacado por Garcia (2014), embora esses produtos possam contribuir para a antecipação da colheita por meio da redução do teor de água nos grãos, seus efeitos são fortemente condicionados pelo ambiente, especialmente pela temperatura e pela umidade do ar, fatores que influenciam diretamente a intensidade do metabolismo vegetal e a dinâmica de desidratação dos grãos. Em condições de temperaturas mais elevadas e menor umidade, por exemplo, a perda de água tende a ser favorecida.

Dessa forma, os dados obtidos evidenciam a importância de alinhar o uso de maturadores ao ciclo fisiológico da cultura e às condições ambientais predominantes durante a fase final de desenvolvimento. Considerando a ausência de resposta significativa para a maior parte das variáveis avaliadas, estudos futuros devem investigar a aplicação desses produtos em estádios mais precoces do desenvolvimento, quando os processos fisiológicos e a definição dos componentes produtivos ainda se encontram em formação. Essa abordagem poderá contribuir para a compreensão mais precisa do potencial dos maturadores químicos como ferramenta de manejo na cultura do milho.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que a aplicação de maturadores químicos, nas doses e épocas avaliadas, não promoveu alterações significativas nas variáveis agronômicas da cultura do milho. Embora tenham sido observadas variações pontuais no teor de umidade dos grãos em determinadas épocas de aplicação, esses efeitos não se refletiram em ganhos produtivos nem em mudanças consistentes nos demais parâmetros analisados. Assim, nas condições do presente estudo, a aplicação tardia desses produtos não antecipou a colheita e nem interferiu na eficiência agronômica para a cultura do milho.

6. LITERATURA CITADA

ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT, M. E. Ethylene in plant biology. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1992.

ALICE, A. et al. Qualidade tecnológica do sorgo sob manejo de maturadores químicos. 2018.

ANDRIOLLI, I. & CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 27., Brasília, 1999. Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. CDROOM.

AYELE, N.; TANA, T.; VAN HEERDEN, P. D. R. et al. Response of sugarcane cultivars to chemical ripeners during the mid-period of harvesting in Ethiopia. Sugar Tech, v. 25, p. 177–184, 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Dados de produção e exportação do milho em 2023. Brasília: MAPA, 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Dados de produção e exportação do milho em 2023. Brasília: MAPA, 2024.

CAO, Z. et al. The effects of sowing date on maize: phenology, morphology, and yield formation in a hot subtropical monsoon region. Field Crops Research, v. 309, p. 109309, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109309>. Acesso: 20/03/2026.

CAPUTO, M. M. et al. Uso de maturadores químicos em cana-de-açúcar. STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 25, n. 3, p. 34–37, 2007.

CAPUTO, M. M.; SILVA, M. A.; BEAUCLAIR, E. G. F. Efeitos de reguladores de crescimento na maturação da cana-de-açúcar. Bragantia,

Campinas, v. 66, n. 4, p. 545–552, 2007.

CASTRO, P. R. C. Reguladores de crescimento em plantas. Piracicaba: ESALQ/USP, 1992.

CASTRO, P. R. C.; FACHINELLO, J. C. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. Ecofisiologia de culturas tropicais. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1999.

CHAZARRETA, Y. D. et al. Enhancing maize grain dry-down predictive models. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 334, p. 109427, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109427>. Acesso: 20/03/2026.

CHEN, Z.; GALLAVOTTI, A. Improving architectural traits of maize inflorescences. *Molecular Breeding*, v. 41, n. 21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-021-01212-5>. Acesso: 20/03/2026.

CHIBANE, N. et al. Relationship between delayed leaf senescence (stay-green) and agronomic and physiological characters in maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, v. 11, n. 2, p. 276, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020276>. Acesso: 20/03/2026.

COELHO, J. Milho: produção e mercado. Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, 2021.

COELHO, J. Milho: produção e mercado. Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, 2021.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26 – milho. Brasília: CONAB, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em:

01/03/2026.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2025/2026. Brasília: Conab, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab>. Acesso em: 05/03/2026.

CORREIA, N. M.; VILLELA, G. B. Trinexapac-ethyl and sulfometuron-methyl selectivity to young eucalyptus plants. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 259-266, 2015.

CUNHA, A. C. M. C. M. et al. Uso de reguladores vegetais no enraizamento de estacas. Colombo: Embrapa Florestas, 2005.

DALLEY, C. D.; RICHARD JR., E. P. Herbicides as ripeners for sugarcane. *Weed Science*, v. 58, n. 3, p. 329-333, 2010. DOI: 10.1614/WS-D-09-00001.1.

DAVIES, P. J. Plant hormones and their role in plant growth and development. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1987.

DAVIES, P. J. Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action! 3. ed. Dordrecht: Springer, 2010.

DAYNARD, T. B.; DUNCAN, W. G. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Science*, v. 9, p. 473–476, 1969.

DE PAULA SILVA, D.; JACOMASSI, L. M.; OLIVEIRA, J. A. V. et al. Growth-promoting effects of thiamethoxam on sugarcane ripened with sulfometuron-methyl. *Sugar Tech*, v. 25, p. 339–351, 2023.

DORNELES, A. O. et al. Tendências e desafios nas ciências agrárias: produção vegetal no século XXI. Brasília: CAPES, 2023.

DUBOIS, Marieke; VAN DEN BROECK, Lisa; INZÉ, Dirk. The pivotal role of ethylene in plant growth. *Trends in Plant Science*, v. 23, n. 4, p. 311-323, 2018.

DOI: 10.1016/j.tplants.2018.01.003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Uso de reguladores de crescimento na agricultura. Brasília: EMBRAPA, 2022.

EMBRAPA. Reguladores de crescimento: importância, perspectivas e utilização na agricultura. Brasília: Embrapa, 2022.

EMBRAPA. Zoneamento agropecuário: cultura do milho. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho>.

FAGHERAZZI, M. M. et al. Efeito do trinexapac-ethyl na cultura do milho em condições de campo. Revista de Ciências Agroveterinárias, 2017.

FANCELLI, A. L. Milho. Piracicaba: FEALQ/ESALQ, 1990.

FANCELLI, A. L. Nutrição e adubação de milho. In: Milho: manejo e produtividade. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009.

FANCELLI, A. L. Tecnologia da produção do milho para alta produtividade. Piracicaba: ESALQ/Sebrae, 1994.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 360 p.

GAO, S. et al. Relationship and distribution of in-field dry-down and equilibrium in maize grain moisture content. Agricultural and Forest Meteorology, v. 304–305, p. 108409, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108409>. Acesso: 20/03/2026.

GAO, S.; MING, B.; LI, L.; YIN, X.; XUE, J.; WANG, K.; XIE, R.; LI, S.

Relationship and distribution of in-field dry-down and equilibrium in maize grain moisture content. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 304–305, p. 108409, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108409>. Acesso em: 24 mar. 2026.

GARCIA, C. A. R. Utilização de maturadores para antecipação da colheita do milho. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/112397>. Acesso em: 28 jul. 2025.

GONG, F.; WU, X.; ZHANG, H.; CHEN, Y.; WANG, W. Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 835, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00835>. Acesso: 20/03/2026.

HOSTETLER, A. N.; TINOCO, S. M. S.; SPARKS, E. E. Root responses to abiotic stress: a comparative look at root system architecture in maize and sorghum. *Journal of Experimental Botany*, v. 75, n. 2, p. 553–562, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erad390>. Acesso: 20/03/2026.

KUMAR, R.; SINGH, N.; SINGH, H. Contribution of maize in human and animal nutrition. *Journal of Agricultural Science*, v. 4, n. 2, p. 12-19, 2012.

LEITE, G. H. P. et al. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 2, p. 527-534, 2009. DOI: 10.1590/S0006-87052009000200028.

LEITE, G. H. P. et al. Reguladores vegetais e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em meio de safra. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 6,

p. 1843-1850, 2008. DOI: 10.1590/S1413-70542008000600024.

LEITE, G. H. P.; SILVA, R. M.; CARVALHO, T. P. Benefícios do uso de maturadores na antecipação da colheita agrícola. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 45, p. 56-68, 2022.

LEOLATO, L. S. et al. Growth regulator and maize response to the increase in plant density. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 11, p. 997-1005, 2017. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2017.v52.24784.

LI, L. et al. The stability and variability of maize kernel moisture content at physiological maturity. *Crop Science*, v. 61, p. 704–714, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20289>. Acesso: 20/03/2026.

LIMA, S. F. et al. Effect of trinexapac-ethyl on sugarcane varieties. *Bioscience Journal*, v. 35, n. 1, p. 159–165, 2019.

LÜTTGE, U.; KLUGE, M.; BAUER, G. *Botany: an introduction to plant biology*. Berlin: Springer, 2002.

MACHADO, M. P. et al. *Cultura de tecidos vegetais: fundamentos e aplicações*. Brasília: Embrapa, 2010.

MAYDICA. Silage maize ripening behaviour affects nitrate leaching over following winter. *Maydica*, v. 56, 2012.

MENDES FAGHERAZZI, M. et al. Phenological sensitivity of two maize cultivars to trinexapac-ethyl. *Planta Daninha*, v. 36, e018154739, 2018. DOI: 10.1590/S0100-83582018360100012.

MÜLLER, J. et al. Silage maize ripening behaviour affects nitrate leaching over following winter. *Maydica*, v. 56, 2012.

NADERI, S.; GHORBANI, M.; KARIMI, H. Global corn consumption trends

and challenges. *Agricultural Reviews*, v. 45, p. 67-79, 2024.

NAKAYAMA, I. et al. Effects of plant growth regulators on gibberellin biosynthesis. *Plant Physiology*, 1990.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI). Trinexapac-ethyl. PubChem Compound Database. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/92421>. Acesso em: 05 mar. 2026.

RADEMACHER, W. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Annual Plant Reviews*, 2016.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v. 51, p. 501–531, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.501>. Acesso em: 28 jul. 2025.

RADEMACHER, W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 34, n. 4, p. 845–872, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>. Acesso: 20/03/2026.

RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT. Application times of trinexapac-ethyl associated with plant densities in agronomic performance of second-season corn. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, e39310914751, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.14751>. Acesso: 20/03/2026.

SALA, R. G.; ANDRADE, F. H.; WESTGATE, M. E. Maize kernel moisture at physiological maturity as affected by the source–sink relationship during grain filling. *Crop Science*, v. 47, p. 711–714, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0381>. Acesso: 20/03/2026.

SANGOI, L. et al. Maize response to trinexapac-ethyl and nitrogen fertilization. *Planta Daninha*, v. 38, e020185014, 2020. DOI: 10.1590/S0100-83582020380100037.

SANTNER, A.; CALDERÓN-VILLALOBOS, L. I. A.; ESTELLE, M. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature Chemical Biology*, v. 5, n. 5, p. 301-307, 2009. DOI: 10.1038/nchembio.165.

SILVA, A. C.; VOLPONI, J. Reguladores de crescimento na agricultura: aplicações e limitações. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 17, n. 2, p. 1–10, 2022.

SILVA, A. P.; MENDES, L. R.; SOUZA, F. Estratégias empresariais para produção de etanol de milho no Brasil. *Revista Energia e Sustentabilidade*, v. 10, n. 2, p. 99-112, 2021.

SILVA, G. O.; VOLPONI, I. A. Ação do maturador ethephon na germinação de sementes e no ciclo da cultura do milho (*Zea mays* L.). 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Cesumar, Maringá, 2022.

SILVA, M. A. et al. Use of plant growth regulators as improvers of tillering and of productivity in sugarcane ratoon. 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

UNEM – União Nacional do Etanol de Milho. Produção de etanol de milho no Brasil deve atingir cerca de 10 bilhões de litros na safra 2025/2026. 2025. Disponível em: <https://www.novacana.com>. Acesso em: 05/03/2026.

UNESP-Universidade Estadual Paulista. Estação Agroclimatológica do

Departamento de Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal. Jaboticabal, SP: UNESP, 1970.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Brazil: grain and feed annual – corn production report. Washington, DC: USDA, 2025. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov>. Acesso em: 01/03/2026.

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*, v. 181, p. 69-75, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.06.013.

WAADT, R. et al. Plant hormone regulation of abiotic stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, v. 23, p. 680–694, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41580-022-00479-6>. Acesso em: 03 abr. 2026.

XU, T.; LI, Y.; ZHANG, H. et al. Plant growth regulators enhance maize yield and physiological performance under high plant density. *Agronomy*, Basel, v. 14, n. 6, p. 1–15, 2024.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Doses e épocas de aplicação de regulador de crescimento em híbridos de milho. *Planta Daninha*, v. 31, n. 2, p. 395–402, 2013.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Resposta do milho à aplicação de reguladores de crescimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 390–395, 2013.

ZHANG, Q. et al. Maize yield and quality in response to plant density and application of a novel plant growth regulator. *Field Crops Research*, v. 164, p. 82–89, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.006>. Acesso:

20/03/2026.

ZHAO, R. et al. Dynamics of maize grain weight and quality during field dehydration and delayed harvesting. *Agriculture*, v. 13, n. 7, p. 1357, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071357>. Acesso: 20/03/2026.