



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GISELE RODRIGUES MUSSOLINE

**BIOESTIMULANTES NO DESENVOLVIMENTO E
PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Londrina
2023

GISELE RODRIGUES MUSSOLINE

**BIOESTIMULANTES NO DESENVOLVIMENTO E
PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Ursi Ventura

Londrina
2023

G532b Mussoline, Gisele Rodrigues.
BIOESTIMULANTES NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR / Gisele Rodrigues Mussoline. - Londrina, 2023.
52 f. : il.

Orientador: Maurício Ursi Ventura.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.
Inclui bibliografia.

1. BIOESTIMULANTES - Tese. 2. CANA-DE-AÇÚCAR - Tese. 3.
MICROALGAS - Tese. 4. SILÍCIO - Tese. I. Ventura, Maurício Ursi. II.
Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de
Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

GISELE RODRIGUES MUSSOLINE

**BIOESTIMULANTES NO DESENVOLVIMENTO E
PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Maurício Ursi Ventura
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Freddy Eli Zambrano Gavilanes
Universidad Técnica de Manabí

Londrina, 27 de fevereiro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Á Deus primeiramente, a quem entreguei e confiei meus planos.

Ao meu irmão Dr. Helder Rodrigues da Silva, que foi o primeiro a dizer que tudo seria possível me acompanhando em todos os momentos.

Ao meu orientador Dr. Maurício Ursi Ventura, por toda paciência e ensinamentos, e por acreditar no meu potencial.

Á Universidade Estadual de Londrina – UEL e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia pela oportunidade da realização do mestrado.

Á Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

Ás Empresas NovAllga, Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana (ASSOCANA), Usina Água Bonita, Empresa MCPC – Controle Biológico, pela parceria.

Ao meu esposo Vitor por todo suporte, paciência e companheirismo.

Á minha filha Maria Valentina, que é a razão da minha superação diária.

Aos meus pais e amigos pelo incentivo e apoio dedicados.

*“Não fui eu que ordenei a você?
Seja forte e corajoso!
Não se apavore nem desanime,
pois o Senhor, o seu Deus,
estará com você por onde você andar.”*

Josué 1:9

RESUMO

MUSSOLINE, Gisele Rodrigues. **Bioestimulantes no Desenvolvimento e Produção de Cana-de-açúcar**. 2023. 67 f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

Novas práticas agronômicas que promovam aumento da produção e qualidade das culturas, garantindo redução de custos e sustentabilidade, são indispensáveis diante da crescente demanda por alimentos energia renovável. O estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar de bioestimulantes produzidos com Microalgas (*Spirulina platensis*, *Scenedesmus dimorphus* e *Chlorella vulgaris*) e formulações contendo silício associadas à extratos de algas marrons e quitosana (SiAmQui), nos aspectos biométricos, na produtividade, na qualidade da matéria-prima, e interferência no desenvolvimento de larvas de *Diatraea sacharallis* na cultura da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em duas safras. As avaliações biométricas foram diâmetro de colmos (cm), número de gemas por planta, número de colmos por metro, altura de colmos (m) e teor de clorofila (ICF); e no período pós-colheita o de peso total (ton), e de variáveis relativas à qualidade da matéria-prima: POL do caldo (porcentagem em massa de sacarose aparente), BRIX do caldo (porcentagem em massa de sólidos solúveis), pureza (relação POL/BRIX x100), porcentagem de fibras, AR (açúcares redutores) e ATR (açúcares totais recuperáveis) Kg ton⁻¹ e ton ha⁻¹. Também se avaliou o efeito dos bioestimulantes no desenvolvimento das larvas de *Diatraea sacharallis*. As larvas foram alimentadas com colmos das plantas previamente tratados com os bioestimulantes, sendo pesadas antes e após a alimentação para estimativa de ganho de peso e mortalidade. Observou-se que no primeiro ciclo o tratamento Spirudrop - a base da microalga *Spirulina platensis* foi o que mais incrementou a produtividade (27.22%) e a quantidade de toneladas de açúcar por hectare (23.54%) quando comparado a testemunha. No segundo ciclo, os tratamentos SiAmQui e Nutriscene (a base da microalga *S. Dimorphus* +Zn) apresentaram altura de colmo superiores à testemunha. Para o parâmetro nº de gemas por colmo, o tratamento, SiAmQui foi superior à testemunha. Para a variável diâmetro de colmos, todos os tratamento foram superiores a testemunha sem tratamento. As maiores médias de produtividade de cana-de-açúcar e toneladas de açúcar por hectare foram verificadas no tratamento SiAmQui, chegando a obter acréscimo de 60.57% e 62.04% respectivamente quando comparado à testemunha. Não houve diferenças no

desenvolvimento das larvas de *D. sacharallis*, avaliado através do ganho de peso. Os resultados demonstram que os bioestimulantes à base de microalgas e formulações com mistura de bioestimulantes (SiAmQui) , aumentam a produtividade, nas condições em que foram realizados os experimentos.

Palavras-chave: *Estresse abiótico; Chlorella vulgaris, Nanopartículas, Saccharum officinarum; Spirulina platensis.*

ABSTRACT

MUSSOLINE, Gisele Rodrigues. **Biostimulants in Sugarcane Development and Production**. 2022. 67 f. Dissertation. (Masters in Agronomy) – State University of Londrina, Londrina, 2023.

New agronomic practices that promote increased production and quality of crops, ensuring cost reduction and sustainability, are indispensable in the face of the growing demand for food and renewable energy. The study aimed to evaluate the effect of foliar application of biostimulants produced with microalgae (*Spirulina platensis*, *Scenedesmus dimorphus* and *Chlorella vulgaris*) and formulations containing silicon associated with extracts of brown algae and chitosan (SiAmQui), on biometric aspects, productivity, raw material quality, and interference in the development of *Diatraea saccharalis* larvae in the sugarcane crop. The experiment was conducted in two seasons. Biometric evaluations were stem diameter (cm), number of buds per plant, number of stems per meter, stem height (m) and chlorophyll content (ICF); and in the post-harvest period, the total weight (ton), and variables related to the quality of the raw material: POL of the broth (percentage by mass of apparent sucrose), BRIX of the broth (percentage by mass of soluble solids), purity (POL/BRIX ratio x100), fiber percentage, AR (reducing sugars) and ATR (total recoverable sugars) Kg ton⁻¹ and ton ha⁻¹. The effect of biostimulants on the development of *Diatraea saccharalis* larvae was also evaluated. Larvae were fed with stems of plants previously treated with biostimulants, being weighed before and after feeding to estimate weight gain and mortality. It was observed that in the first cycle the Spirudrop treatment - based on the microalgae *Spirulina platensis* - was the one that most increased productivity (27.22%) and the amount of tons of sugar per hectare (23.54%) when compared to the control. In the second cycle, the treatments SiAmQui and Nutriscene (based on the microalgae *S. Dimorphus* +Zn) presented higher stem height than the control. For the parameter number of buds per stem, the treatment, SiAmQui was superior to the control. For the stem diameter variable, all treatments were superior to the control without treatment. The highest averages of sugarcane productivity and tons of sugar per hectare were verified in the SiAmQui treatment, reaching an increase of 60.57% and 62.04% respectively when compared to the control. There were no differences in the development of *D. saccharalis* larvae, evaluated through weight gain. The results demonstrate that biostimulants based on microalgae and formulations with a mixture of biostimulants (SiAmQui) increase

productivity under the conditions in which the experiments were carried out.

Keywords: abiotic stress; *Chlorella vulgaris*, *Nanoparticles*, *Saccharum officinarum*; *Spirulina platensis*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estádios de Desenvolvimento da cana-de-açúcar com principais eventos, duração e época de aplicação dos Bioestimulantes.....	33
Figura 2 Comparativo de Precipitações Pluviométricas dos meses referentes ao ciclos da cultura com Média Histórica de 27 anos: A – 1º Ciclo e B – 2º Ciclo	34
Figura 3 Temperaturas mínima média e máximas dos meses referentes ao ciclo da cultura: A – 1º Ciclo e B – 2º Ciclo	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Bioestimulantes aplicados via foliar em cana-de-açúcar no primeiro ciclo de produção, Cândido Mota - SP, 2021.	27
Tabela 2. Composição dos Bioestimulantes utilizados no Primeiro Ciclo da cultura cana-de-açúcar em aplicação foliar, Cândido Mota –SP – 2021.....	27
Tabela 3. Bioestimulantes aplicados via foliar em cana-de-açúcar no segundo ciclo de produção, Cândido Mota – SP - 2022.	28
Tabela 4. Composição dos Bioestimulantes utilizados no Segundo Ciclo da cultura de cana-de-açúcar em aplicação foliar, Cândido Mota - SP - 2022	28
Tabela 5. Aplicação Foliar de Bioestimulantes na cana-de-açúcar para alimentação <i>D. sacharallis</i> com avaliação de desenvolvimento e mortalidade.....	32
Tabela 6. Composição dos Bioestimulantes aplicados em cana-de-açúcar para alimentação de larvas de <i>D. sacharallis</i>	32
Tabela 7. Quadro de Análise de Variância - Produtividade de Cana-de-açúcar com aplicação de diferentes bioestimulantes.....	36
Tabela 8. Médias de Produtividade: Cana-de-açúcar em ton ha ⁻¹ e Açúcar em t ha ⁻¹ submetida a diferentes tratamentos com bioestimulantes, Cândido Mota - SP, 2021.	37
Tabela 9. Análise Matéria - prima Primeiro ciclo cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos com bioestimulantes.	38
Tabela 10. Médias de nº Plantas por metro, altura de colmos- m, nº Gemas por colmo, Diâmetro do colmo - cm referentes ao 2º ciclo da cultura de cana-de-açúcar tratada com bioestimulantes.....	38
Tabela 11. Quadro de Análise de Variância - Produtividade de cana-de-açúcar com aplicação de diferentes bioestimulantes.....	39
Tabela 12. Médias de Produtividade: Cana-de-açúcar em ton ha ⁻¹ e Açúcar em t ha ⁻¹ submetida a diferentes tratamentos com bioestimulantes, Cândido Mota – SP, 2022	39
Tabela 13.- Análise da Matéria - prima – Segundo Ciclo da Cultura submetida a diferentes tratamentos com bioestimulantes	40
Tabela 14. Ganho de peso e Mortalidade <i>Diatraea sacharallis</i> alimentadas com colmos tratados com Bioestimulantes	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABISOLO	Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AR	Açúcares Redutores
ARC	Açúcares Redutores
ASSOCANA	Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana
ATR	Açúcares Totais Recuperáveis
BRIX	Porcentagem em massa de sólidos solúveis
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa Pesquisa Energética
F	Fibra da Cana
Fe	Ferro
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
Na	Sódio
NPs	Nanopartículas
PC	Pol da Cana
POL	Teor de sacarose aparente na cana/caldo
Q	Pureza do Caldo
ROS	Espécies Reativas de Oxigênio
Si	Silício
VTC	Valor Tonelada de Cana

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2.	REVISAO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	USO DE FERTILIZANTES QUÍMICOS E AGROTÓXICOS NO BRASIL.	4
2.2	CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR.	6
2.3	BIOESTIMULANTES VEGETAIS	11
2.3.1	Algas Marinhas e Microalgas.....	12
2.3.2	Nanotecnologia.....	16
2.3.4	Silício	17
2.3.5	Quitosana	18
2.3.6	Interação de Bioestimulantes	19
3	ARTIGO: EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE BIOESTIMULANTES À BASE DE MICROALGAS E MISTURAS CONTENDO NANOPARTÍCULAS DE SILÍCIO, ALGAS E QUITOSANA NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CANA- DE-AÇÚCAR	20
3.1	INTRODUÇÃO	23
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.2.1	Localização e Caracterização da Área Experimental	25
3.2.2	Cultivar e Manejo.....	26
3.2.2.1	Primeiro ciclo:	26
3.2.2.2	Segundo ciclo:	27
3.2.3	Avaliações nos Ensaio Experimentais	28
3.2.3.1	Primeiro ciclo da cultura	29
3.2.3.2	Segundo ciclo da cultura	30
3.2.4	Análises Estatísticas.....	30
3.2.5	Mortalidade e Ganho de Peso de <i>Diatraea sacharallis</i>	30
3.2.5.1	Local experimental.....	31
3.2.5.2	Obtenção e manutenção: material vegetal e insetos	31
3.2.5.3	Avaliação para determinação de ganho peso e mortalidade	33
3.2.6	Dados Climáticos Regionais e Estádios Fenológicos da Cultura	33
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36

3.3.2	Segundo Ciclo de Avaliações	38
3.3.3	Desenvolvimento e Mortalidade de <i>D. sacharallis</i>	44
4.	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura energética com uso consolidado na geração de energia renovável, tornando-se cada vez mais importante para a economia brasileira. A biomassa produzida através dela é responsável por uma parcela significativa na oferta interna de energia do país.

Segundo dados da Globalfert (BRASIL, 2021) a cultura também responde por aproximadamente 11% de todo fertilizante consumido no Brasil. Os agroquímicos são extremamente importantes para manter e melhorar a produção agrícola, cada vez mais pressionada pela demanda gerada por uma população mundial em rápido crescimento. Porém, o uso inadequado e excessivo dessas substâncias resulta no acúmulo de resíduos tóxicos que causam efeitos indesejáveis ao ambiente e à saúde humana.

Dentro deste contexto, o uso de produtos que aumentem a eficiência nutricional e a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos são uma ferramenta de grande potencial na racionalização do uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos.

Os bioestimulantes vegetais caracterizam-se como uma ou mais substâncias ou microrganismos aplicados em plantas com o objetivo de aumentar sua eficiência nutricional, incrementar a produção, a tolerância ao estresse biótico e abiótico, ou as características de qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes. Estão divididos em algumas categorias como: ácidos húmicos e fúlvicos; proteína hidrolisadas e compostos contendo nitrogênio; extratos de algas marinhas; produtos botânicos; quitosana e outros biopolímeros; compostos inorgânicos; fungos e bactérias benéficas.

O uso de algas marinhas ou macroalgas na agricultura já é consolidado, devido as suas propriedades relacionadas à composição bioquímica. Algumas delas são frequentemente utilizadas como componentes de bioestimulantes. Porém, devido ao cultivo e a colheita serem feitos diretamente no mar, a padronização e a qualidade da matéria-prima torna-se um obstáculo. Além disso, preocupações relacionadas ao equilíbrio dos ecossistemas marinhos pela retirada de grandes quantidades desses organismos, traz preocupações sobre sua sustentabilidade.

Em contrapartida, as microalgas são um grupo de organismos fotossintetizantes ricos em compostos biologicamente ativos que se multiplicam rapidamente em meio líquido. Ao contrário das macroalgas, podem ser cultivadas em ambientes controlados e até mesmo em águas residuais, permitindo não somente a padronização da matéria-prima obtida, mas a reciclagem de nutrientes que seriam descartados, o que eleva seu potencial de alternativa verde e sustentável.

Assim como os bioestimulantes, a nanotecnologia tem-se mostrado importante ferramenta na agricultura. Caracterizando-se pela ciência de materiais que estuda partículas com interfaces de dimensões extremamente pequenas. As nanopartículas tem grande área superficial e tamanhos da ordem de um a cem nanômetros. As extensas aplicações de nanopartículas nos setores agrícolas abrangem nanobiossensores, reguladores de crescimento de plantas, promotores de crescimento de plantas, nanofertilizantes, nanopesticidas, gerenciamento de nutrientes e proteção contra fitopatógenos.

As nanopartículas de Si possuem diâmetro de 10 a 100 nm e são produzidas através de várias fontes de Si. As medidas entre 20 a 40 nm são as mais utilizadas em aplicações foliares, com mecanismo de ação ainda pouco conhecido. São reportados efeitos positivos no crescimento e no desenvolvimento das plantas. Apesar de não ser considerado um elemento essencial, o silício pode estimular o desenvolvimento das culturas e mitigar diversos estresses como seca, calor, salinidade e toxicidade de metais. Em adição, atribui-se ao silício um papel central no aumento das defesas diretas e indiretas das plantas contra insetos, por meio de reforço nas barreiras físicas e mecanismos bioquímicos e moleculares que induzem respostas nas plantas.

Estudos prévios propõem a possibilidade de sinergismo no uso de alguns bioestimulantes quando utilizados em misturas. A combinação de silício a extratos de algas, e quitosana tem se mostrado eficiente visando a potencialização dos efeitos individuais de cada bioestimulante.

Portanto, considerando a importância da cultura e os impactos dos estresses bióticos e abiótico durante seu ciclo, o estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar de bioestimulantes produzidos através de Microalgas (*S. platensis*, *S. dimorphus* e *C. vulgaris*) e formulações contendo nanopartículas de silício associadas à macroalgas e quitosana, nos aspectos biométricos, na

produtividade, na qualidade da matéria-prima, além de possível interferência no desenvolvimento de larvas de *Diatraea sacharalis*, na cultura da cana-de-açúcar.

2. REVISAO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USO DE FERTILIZANTES QUÍMICOS E AGROTÓXICOS NO BRASIL.

A estimativa de aumento populacional com projeção de crescimento de 2.0 bilhões de pessoas até 2050 (UNITED NATIONS, 2022) faz com que o setor agrícola enfrente o desafio de aumentar a produtividade, usando de forma eficiente os recursos disponíveis, ao mesmo tempo em que reduz impactos ao ambiente e à saúde humana (ROUPHAEL; COLLA, 2018, 2020).

A situação se agrava diante das mudanças climáticas que tem potencial de causar efeitos negativos diretos e indiretos na agricultura (ALPINO et al., 2020). Nas últimas décadas, a produção de alimentos tem sido frequentemente limitada por inúmeros fatores de estresse abióticos como deficiência hídrica, temperaturas extremas, salinidade, deficiência de nutrientes minerais ou toxicidade (JENKS; HASEGAWA, 2007). Portanto, de acordo com Alvarez et al. (2021) a segurança alimentar global depende de se alcançar a sustentabilidade agrícola.

Os fertilizantes e os agroquímicos desempenham uma função crucial para manter e melhorar a produção (ROUPHAEL; COLLA, 2020), porém o uso inadequado e desenfreado destas substâncias resulta no acúmulo de resíduos tóxicos causando efeitos indesejáveis ao ambiente e saúde humana (SARKAR et al., 2018). A utilização em doses exageradas pode ser prejudicial às plantas, pela concentração de excesso de sais, ou pela presença de substâncias tóxicas, podendo acumular substâncias incompatíveis com a qualidade dos alimentos (ZONTA; PEREIRA, 2021).

Algumas práticas de adubação utilizadas na produção agrícola podem se mostrar não sustentáveis, em função do possível risco de contaminação de aquíferos, mananciais hídricos e eutrofização dos ambientes aquáticos em geral. Além disso a lixiviação de íons para as camadas mais profundas do solo se torna também um problema, principalmente com o uso de adubos de alta solubilidade (ZONTA; PEREIRA, 2021).

O uso de fertilizantes minerais como fonte de nutrientes para o sistema agrícola se destaca pela maior concentração de nutrientes por quantidade de matéria, teor conhecido e fácil manejo, quando comparados com outras fontes de adubação (OGINO; RIBEIRO, 2021).

O Brasil é responsável por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes sendo o potássio, com 38% o principal nutriente aplicado, seguido por fósforo, com 33%, e nitrogênio com 29% do consumo total de fertilizantes. Soja, milho e cana-de-açúcar respondem por mais de 73% do consumo de fertilizantes no país. No entanto, 80% dos fertilizantes utilizados no país são importados, evidenciando um elevado nível de dependência externa em um mercado dominado por poucos fornecedores, deixando a economia brasileira vulnerável às oscilações do mercado internacional de fertilizante (BRASIL, 2021).

A apreensão sobre o aumento de preços se agrava em solos tropicais, predominantes no Brasil. Segundo dados da CONAB (2022), os gastos com fertilizantes representam um dos itens principais no custo de produção das culturas chegando a 23,36% (safra 2022/2023) na cultura da cana-de-açúcar, por exemplo (OGINO; RIBEIRO, 2021).

Segundo os dados da Associação Nacional para a Difusão de Adubos, em 2013 o total de fertilizantes entregues ao mercado foi de 30.700.397 toneladas sendo importados 21.618.882 toneladas; em 2021 foram entregues ao mercado 45.855.071 toneladas, sendo a importação 39.258.338 toneladas de produto. De 2013 para 2021 houve um acréscimo de 15.154.674 toneladas entregues ao mercado com conseqüente crescimento da quantidade importada, apesar da percentagem de produto importado decrescer (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA), 2015, 2022).

Para o Brasil elevar a produtividade será preciso complementar as tecnologias já consolidadas (calagem, fertilizantes biológicos naturais, fertilizantes tradicionais) com novas tecnologias relacionadas a bioinsumos, bioprocessos, biofertilizantes, inoculantes e condicionadores de solo, fertilizantes orgânicos e organominerais, subprodutos com potencial de uso agrícola, nanotecnologia e tecnologia digital, remineralizadores e agrominerais (ABISOLO, 2022).

No Brasil, o uso de agrotóxicos se intensificou a partir do início dos anos 1990, fazendo do país o segundo maior consumidor no mundo. A utilização é concentrada em algumas lavouras, especialmente soja, milho e cana-de-açúcar, e é também concentrada espacialmente, sobretudo nas regiões Centro-Oeste, Sul e no estado de São Paulo (MORAES, 2019).

Em 2022, 3100 produtos formulados estavam registrados para comercialização, sendo 344 ingredientes ativos. Somente para a cultura da cana-de-

açúcar um total de 796 produtos formulados. Dentre os formulados, ressalta-se que 730 deles são classificados como mediano, altos e extremamente tóxicos (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2023).

Em 2018, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) divulgou um relatório elaborado pelo Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos, cuja pesquisa foi realizada no período de 2017 a 2018, na qual foram monitorados níveis de componentes agrotóxicos em 14 alimentos, abrangendo as seguintes categorias: cereais/leguminosas, frutas, hortaliças folhosas, hortaliças não folhosas e tubérculos/raízes/ bulbos (ANVISA, 2019). Neste estudo, foram analisados 270 agrotóxicos em 4616 amostras, e em 23% delas foram detectados resíduos (ANVISA, 2019). Os resultados são menores quando comparados aos dados obtidos período de 2013 a 2015 quando 58% das amostras analisadas apresentaram resíduos dos agrotóxicos analisados, o que demonstra apesar da queda um alto nível de agrotóxicos consumido no Brasil (ANVISA, 2019; CASTRO et al., 2019).

Impactos causados pelos agrotóxicos em seres humanos vão desde simples náuseas, dores de cabeça e irritações na pele até problemas crônicos, como diabetes, malformações congênitas e vários tipos de câncer (MORAES, 2019).

Alguns agrotóxicos utilizados na agricultura causam contaminação do solo, diminuição no número de organismos vivos, aumento da resistência de insetos pragas, contaminação dos recursos hídricos devido as suas características bioacumuladoras e baixa degradação. Ainda afetam os processos biológicos responsáveis pela oferta de nutrientes às plantas e contaminam recursos destinados ao abastecimento de água potável. Assim é imprescindível que seu uso ocorra de maneira consciente para minimizar os impactos ambientais e à saúde humana, garantindo a produção agrícola de forma mais sustentável (LOBO; RAMOS, 2018).

2.2 CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR.

A cana-de-açúcar é uma gramínea de origem asiática, sendo a maior parte da produção comercial cultivadas em ampla faixa de latitude 35° N e 35° S (DOORENBOS et al., 1980). A cultura apresenta quatro estádios de desenvolvimento: a brotação – período no qual ocorre a emergência dos brotos, com duração de 30 a 60 dias; perfilhamento e estabelecimento da cultura: marcado pelo

surgimento dos colmos secundário e terciários, durando 60 a 90 dias, alongação dos colmos: período de crescimento intenso com duração de 180 a 210 dias, e finalmente a maturação, que é o período de intenso acúmulo de sacarose e pode durar de 60 a 90 dias (SILVA; SILVA, 2012).

As temperaturas médias diurnas para seu máximo desenvolvimento encontram-se entre 22 e 30° C sendo que abaixo de 20° C a taxa de crescimento diminui. Já na fase de maturação a demanda é por temperaturas menores, entre 10 e 20° C, que favorece o acúmulo da sacarose. As necessidades hídricas ficam entre 1200 e 1500 mm bem distribuídos durante o ciclo (DOMINGUES, 2010; DOORENBOS et al., 1980).

A cana-de-açúcar é a base econômica de mais de 100 países, com mais de 25 milhões de hectares cultivados em todo o mundo. Esta cultura tem sido considerada uma das mais promissoras para a geração de energia limpa e renovável e deve tornar-se a segunda maior fonte de energia do mundo até 2030 (DE AZEVEDO; QUECINE, 2017).

A utilização de fontes renováveis de energia na matriz energética mundial é um dos maiores desafios da sociedade atual. No Brasil, esta preocupação torna-se evidente diante da predominante utilização do petróleo e seus derivados que tratam-se de fontes não renováveis altamente poluentes. Para reduzir estes impactos é imprescindível que haja uma maior participação de fontes renováveis na matriz energética, como a biomassa, que contém importantes vantagens ao conciliar o viés econômico, com o socioambiental (LOPES et al., 2019).

Biomassa pode ser definida como toda matéria orgânica, seja de origem animal, vegetal ou microrganismos, suscetível a ser transformada em energia (bioenergia) (MARAFON et al., 2016; VIEIRA, et al., 2014).

As culturas energéticas são aquelas nas quais a biomassa pode ser direcionada para produção de energia, sendo exemplos as florestas, cana-de-açúcar, forrageiras, oleaginosas como soja, dendê e macaúba e também microalgas (BELLOTE et al., 2018). Em 2021, a biomassa de cana de açúcar foi responsável por 16,4% de toda oferta interna de energia no Brasil (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, com estimativa de produção de 598,3454 milhões de toneladas em uma área total de 8307,3 mil hectares para a safra 22/23 (COMPANHIA NACIONAL DE

ABASTECIMENTO - (CONAB), 2022)

No centro sul do Brasil, o plantio pode ser efetuado em duas épocas: de setembro a novembro (início da estação chuvosa e quente) nestas condições, a cana-de-açúcar apresenta ciclo de duração média de 12 meses, denominada popularmente de “cana-de-ano”. E também de janeiro a início de abril, até mesmo maio (no meio da estação chuvosa e quente e em direção ao outono) sendo denominada “cana-de-ano-e-meio” (SILVA; SILVA, 2012).

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene, renovada em média a cada 4 anos, e com colheita todos os anos. A cada ciclo a cultura é submetida as condições climáticas e de manejo ficando sua produtividade afetada diretamente por essas condições (BARBIERI; BARBIERI, 1993).

Dentre os fatores ambientais, a temperatura e a umidade são variáveis críticas. Já as doenças, as pragas e até mesmo as plantas daninhas podem resultar em falhas no estabelecimento inicial da cultura e na produtividade. Além da produtividade, a qualidade da matéria prima é um fator determinante na indústria canavieira. Fatores intrínsecos relacionados à composição da cana (teores de sacarose, açúcares redutores, fibras, compostos fenólicos, amido e minerais) são alterados de acordo com a variedade da cana, variações de clima, solo e tratos culturais. Os fatores extrínsecos são relacionados a materiais estranhos ao colmo (terra, pedra, restos de cultura, plantas invasoras) ou compostos produzidos por microrganismos que podem afetar a qualidade da matéria prima (SILVA; SILVA, 2012).

De acordo com os autores SILVA; SILVA, 2012 os principais fatores avaliados na indústria para determinar a qualidade são:

- POL – teor de sacarose aparente na cana. Para a indústria canavieira, quanto mais elevados os teores de sacarose, melhor.
- Pureza – é determinada pela relação $POL/Brix \times 100$. Quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria-prima para se recuperar açúcar.
- ATR – indicador que representa a quantidade total de açúcares da cana (sacarose, glicose e frutose). O ATR é determinado pela relação $POL/0,95$ mais o teor de açúcares redutores. A concentração de açúcares na cana varia, em

geral, dentro da faixa de 13 a 17,5%. Entretanto, canas com alta concentração de ATR e baixa percentagem de fibras estão mais sujeitas a danos físicos e ao ataque de pragas e microrganismos.

- Açúcares redutores – é a quantidade de glicose e de frutose presentes na cana que afetam diretamente sua pureza, já que refletem em menor eficiência na recuperação da sacarose pela fábrica.
- Porcentagem da fibra da cana – reflete na eficiência da extração da moenda, ou seja, quanto mais alta a fibra da cana, menor será a eficiência de extração. Por outro lado, variedades de cana com baixos teores de fibra são mais suscetíveis a danos mecânicos ocasionados no corte e no transporte, o que favorece a contaminação e as perdas na indústria.
- Tempo de corte – é o tempo entre o corte e a moagem. Quanto menor o tempo entre a queima/corte da cana e a moagem, menor será o efeito de atividades microbianas nos colmos e melhor será a qualidade da matéria-prima entregue à indústria.

Conforme descrição de SACHS, 2007, o sistema de pagamento da cana utiliza como base essa qualidade da cana-de-açúcar expressa pela concentração total de açúcares (sacarose, glicose e frutose) recuperáveis no processo industrial e expressa em quilograma por tonelada de cana (ATR). Para determinar o valor da Remuneração da Tonelada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo utiliza-se uma fórmula onde: Valor tonelada de cana (VTC) é:

$VTC (R\$/t) = \text{Quantidade de ATR (kg/t de cana)} \times \text{Valor do ATR (R\$/kg de ATR)}$. Já a quantidade de ATR na cana é determinada por uma fórmula técnica: $ATR (kg/t de cana) = 9,52463 \times PC + 9,05 \times ARC$ (2)

Onde: PC = Pol%Cana;

ARC = Açúcares Redutores% Cana determinado pela seguinte fórmula: $ARC = (3,641 - 0,0343 \times Q) \times (1 - 0,01 \times F) \times (1,0313 - 0,0057 \times F)$

Q = Pureza do caldo;

F = Fibra%cana.

O Valor do ATR é preço médio de um quilo de Açúcar Total Recuperável (ATR), obtido em nível estadual em função dos preços líquidos do açúcar branco destinado ao mercado interno e externo, do açúcar VHP (Very High Polarization) destinado ao mercado externo, do álcool anidro e hidratado (combustível e industrial) comercializados no mercado doméstico e internacional. É determinado, também, pelo mix de produção de cada unidade industrial, ou seja, a quantidade produzida de açúcar e álcool, e pela participação da matéria-prima nos custos de produção do açúcar e do álcool. (SACHS, 2007)

O sistema adotado para remunerar a tonelada de cana-de-açúcar mostra claramente que não existe um valor único para a tonelada de cana. Esse preço varia de acordo com a qualidade da cana, que é influenciada por fatores climáticos, tipos de solos, variedades e tratamentos culturais. Além desse fator, também é determinante o mix de produção e a comercialização da unidade industrial para a qual são entregues a matéria-prima (SACHS, 2007).

Portanto, além da quantidade produzida por área, obter-se um produto com qualidade é fundamental para aumentar a rentabilidade. Uma das maneiras de alcançar a sustentabilidade do cultivo de cana de açúcar é tornando-a resistente a estresses bióticos e abióticos, reduzindo o uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos, desta forma, os bioestimulantes estão cada vez mais sendo utilizados em sistemas de produção agrícola com o objetivo de otimizar a produtividade (YAKHIN et al., 2017).

Dentre os fatores bióticos que afetam a cultura da cana-de-açúcar estão as pragas e as doenças. A cultura pode ser atacada por cupins, cigarrinhas, besouros, e lagartas. Uma das principais pragas é a broca-da-cana *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae). As larvas são brocas do caule que se alimentam de espécies de *Poaceae*, ou gramíneas (SOLIS; METZ, 2016).

Essa espécie pode ser encontrada em todo o país, podendo ocorrer até cinco gerações ao ano. A fêmea coloca os ovos nas folhas, após a eclosão, as larvas se alimentam da folha e da bainha até perfurarem o colmo abrindo galerias. A transformação para pupa e, em seguida, adulto, acontece dentro da galeria. O ciclo tem duração de 50 a 60 dias, sendo fortemente influenciado pela temperatura (CTC)..., [s.d.]).

A broca-da-cana pode causar danos diretos decorrentes da

alimentação da lagarta e se caracterizam por: perda de peso (pela abertura de galerias no entrenó); morte da gema apical da planta (“coração morto”); encurtamento de entrenó; quebra da cana; enraizamento aéreo e germinação das gemas laterais. O dano indireto é causado por microrganismos que invadem o entrenó, através do orifício aberto pela lagarta. Esses microrganismos, predominantemente fungos (*Fusarium moniliforme* e/ou *Colletotrichum falcatum*), invertem a sacarose armazenada na planta, causando perdas pelo consumo de energia no metabolismo de inversão, porque os açúcares resultantes desse desdobramento (glicose e levulose) não se cristalizam no processo industrial (MACEDO; MACEDO, 2004).

A indução de resistência através de bioestimulação na planta pode ser uma alternativa complementar no manejo integrado de pragas com uso de outras táticas, como o controle biológico.

2.3 BIOESTIMULANTES VEGETAIS

Um bioestimulante vegetal é definido como uma ou mais substâncias ou microrganismo aplicado em plantas com o objetivo de aumentar sua eficiência nutricional, incrementar a produção a tolerância ao estresse biótico e abiótico ou as características de qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes (DU JARDIN, 2015; DA SILVA, 2020; MAPA, 2021).

Du Jardin, 2015 descreveu sete categorias de bioestimulantes: ácidos húmicos e fúlvicos; proteína hidrolisadas e compostos contendo nitrogênio; extratos de algas marinhas; produtos botânicos; quitosana e outros biopolímeros; compostos inorgânicos; e fungos e bactérias benéficas.

Os bioestimulantes vegetais são uma das mais proeminentes soluções sustentáveis, dada a sua origem natural e o seu potencial para substituir os métodos convencionais de fertilização na agricultura, visto que têm a capacidade de melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas, aumentar a absorção de nutrientes, o aproveitamento e teor de água, ao mesmo tempo em que melhoram o valor nutricional e a qualidade da produção (BALTAZAR et al., 2021; DU JARDIN, 2015).

2.3.1 ALGAS MARINHAS E MICROALGAS

O uso de algas marinhas como fonte de matéria orgânica e biofertilizante é antigo na agricultura, mas os efeitos bioestimulantes têm sido evidenciados recentemente, levando ao uso comercial de extratos de algas marinhas e de compostos purificados. O extrato de algas marinhas pode ser utilizado para melhorar o desempenho de culturas, proporcionando maior desenvolvimento e produtividade, constituindo uma alternativa ecologicamente correta ao uso de fertilizantes (DU JARDIN, 2015).

Estima-se que algas marinhas ou macroalgas cheguem a cerca de 10.000 espécies, subdivididas principalmente em três categorias com base em sua pigmentação, *Phaeophyta* (marrom), *Rhodophyta* (vermelho) e *Chlorophyta* (verde) (BATTACHARYYA et al., 2015).

A composição bioquímica dos extratos de algas marinhas é complexa contendo polissacarídeos, minerais, vitaminas, gorduras, ácidos, antioxidantes, pigmentos, e hormônios (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014). Portanto, o seu mecanismo de ação requer uma abordagem multidisciplinar para entendimento, devido à interação entre os inúmeros compostos bioativos dentro do mesmo extrato (EL BOUKHARI et al., 2020).

Devido as suas propriedades bioquímicas, as algas marrons são as principais a compor os bioestimulantes, principalmente a espécie *Ascophyllum nodosum* (SHARMA et al., 2014).

Os autores REPKE et al., 2022 mostraram que a aplicação do bioestimulante à base de *Ascophyllum nodosum* aumentou a tolerância das plantas de soja ao estresse térmico, devido ao aumento das taxas de assimilação de CO₂, transpiração, atividade das enzimas antioxidantes e condutância estomática. CARMODY et al., 2020 obtiveram resultados semelhantes quando avaliaram o uso de bioestimulante de *Ascophyllum nodosum* na cultura de tomate submetida a estresse térmico. Neste experimento foi verificado um número maior de flores, maior viabilidade do pólen, maior metabolismo de carboidratos e expressão gênica de metabolitos protetores em órgãos reprodutivos antes da fertilização.

O fato das algas marinhas serem colhidas diretamente do mar pode dificultar a padronização e a qualidade da matéria-prima para a produção dos

bioestimulantes, estando a falta de padronização diretamente relacionada às condições climáticas do local, idade do tecido, disponibilidade de nutrientes e época de colheita, levando a variações em sua composição (SACCOMORI, 2021).

Em 2018, o Brasil importou 812,3 toneladas de extrato de algas para fertilizantes, provenientes do Canadá (47%), França (42%), Noruega (9%) e China (2%). Devido a sua composição, algumas vantagens são atribuídas a sua utilização, como o estímulo do desenvolvimento e crescimento da raiz, aumento da resistência em relação a agentes microbianos patogênicos, maturação mais rápida, crescimento uniforme de culturas e maior resistência em condições extremas de temperatura e ambiente (ABISOLO, 2019).

Os extratos de algas oferecem benefícios adicionais à suplementação nutricional, como biocontrole de fitopatógenos, redução do uso de produtos químicos e minimização das emissões de gases de efeito estufa, porém o sucesso depende da redução do custo na produção de sua biomassa (RENUKA et al, 2018).

As algas geralmente são classificadas em quatro categorias de acordo com seu tamanho e características morfológicas, incluindo algas unicelulares, coloniais, filamentosas e multicelulares. Seguindo esta classificação, as algas são divididas em dois grupos principais: macro e microalgas. As macroalgas são organismos macroscópicos, multicelulares, possuindo um comprimento máximo de 65 m. Por outro lado, as microalgas são organismos microscópicos, unicelulares ou filamentosos, com tamanho pequeno, de 1 a 900 μm (NABTI; JHA; HARTMANN, 2017).

As microalgas são um grupo heterogêneo de organismos fotossintetizantes que incluem cianobactérias e outros organismos eucarióticos (algas verdes, euglenóides, diatomáceas, entre outros), que podem crescer em sistemas marinhos ou de água doce, multiplicando-se rapidamente e produzindo biomassa rica em compostos biologicamente ativos (ANDRADE et al., 2021; BORBA & FERREIRA CAMARGO, 2003).

Estima-se que existam cerca de 800.000 espécies de microalgas, das quais cerca de 50.000 espécies são descritas, sendo possível selecionar diferentes linhagens com diferentes composições bioquímicas e que sejam capazes de crescer em diferentes ambientes (SUGANYA et al., 2016).

O cultivo em ambientes controlados, juntamente com sua

plasticidade metabólica oferece a possibilidade de melhorar e padronizar a sua composição, que é um dos aspectos mais críticos para a produção de bioestimulantes comerciais (SANTINI et al., 2021). A adaptação a condições extremas permite seu cultivo em biorreatores com o aproveitamento de águas residuais de origem industrial, doméstica e agrícola diminuindo a descarga negativa no ambiente e reutilizando nutrientes de diferentes origens (CHIAIESE et al., 2018).

Tanto as lagoas quanto os sistemas fotobiorreatores são adotados em processos industriais para a produção de grandes quantidades de biomassa que podem ser utilizadas para obtenção de diversos produtos como: pigmentos, rações para animais, ácidos graxos e compostos antioxidantes. Porém, o custo de produção pode apresentar-se elevado. Os autores González-Pérez et al., (2022) concluíram que a utilização de várias espécies de microalgas podem tornar os sistemas de produção de algas mais viáveis economicamente.

Microalgas são organismos promissores para formulação de produtos sustentáveis, podendo ser usadas como matéria-prima em alimentos, rações, produtos químicos, biocombustíveis e agroindustriais (ANDRADE et al., 2021).

Há grande variabilidade de seus efeitos nas plantas, dependendo do modo de preparo da formulação, variabilidade genética das espécies e cultivares, fase fenológica da cultura em que são aplicados, dose de aplicação e linhagem utilizada (GOLUBKINA et al., 2022).

A biomassa de microalgas mostrou conter micro e macronutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, podendo ser considerada como um fertilizante orgânico de liberação lenta (COPPENS et al., 2015).

As microalgas contêm algumas substâncias promotoras do crescimento vegetal, como os fitohormônios. As auxinas, as citocininas, o ácido abscísico, o etileno e as giberelinas são compostos capazes de influenciar processos metabólicos, incluindo fotossíntese, respiração, síntese de ácidos nucléicos e absorção de nutrientes (TARRAF et al., 2015).

Além disso, podem conter aminoácidos que são bioestimulantes com efeitos positivos no crescimento e no rendimento das plantas e contribuem para mitigar as perdas causadas por estresses abióticos. As vitaminas, as poliaminas, e os polissacarídeos (como β -glucano) podem ativar mecanismos que levam à regulação de vários genes envolvidos na expansão celular, podem fazer parte de

sua composição (RONGA et al., 2019).

A microalga *Chlorella vulgaris* é uma espécie eucariota, que pertencente ao Reino Plantae, Divisão Chlorophyta, Classe: Trebouxiophyceae, Ordem: Chlorellales, Família: Chlorellaceae, Gênero: *Chlorella*. Esta espécie de microalga é unicelular, cresce em água doce. Possui tamanho de 2 a 10 μm e de acordo com as condições de cultivo a biomassa pode ser composta por 40 a 60 % de proteína, 5 a 60% de lipídeos e 12 a 55% carboidratos, além de possuir aminoácidos que atuam como quelantes e fitosideróforos (substâncias orgânicas que podem quelar Fe ou Zn e aumentar sua absorção pelas plantas) o que facilita a penetração e absorção de nutrientes, aumentando o desenvolvimento e rendimento das culturas (RU et al., 2020).

A microalga *Arthrospira* (ou *Spirulina*) *platensis* é uma cianobactéria autótrofa e procarionte de cor verde-azulada. É encontrada em ambientes salinos e alcalinos e segue sua seguinte classificação taxonômica: Domínio: Procarioto, Reino: Bactéria, Filo: Cianobacteria, Classe: Cianoficeae, Ordem :Oscillatoriales, Família: Phormidiaceae, Gênero: *Arthrospira* (*Spirulina*), Espécie: *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. A biomassa possui teores de proteína entre 55-70%, carboidratos 15-25% e lipídeos 4-7%, ácidos graxos essenciais (18%), vitaminas, minerais e pigmentos como carotenos, clorofila a e ficocianina (SÁNCHEZ et al., 2003). Segundo ARAHOU et al., (2022) a microalga *Spirulina* é capaz de liberar várias moléculas biologicamente ativas como polissacarídeos, aminoácidos e fitohormônios que promovem o crescimento das plantas e aumentam a tolerância a estresses bióticos e abióticos.

A microalga *Scenedesmus dimorphus* ou *Tetradasmus dimorphus*, sinônimo homotípico é uma espécie de microalga eucarionte verde, pertencente ao Reino: Plantae, Filo: Chlorophyta, Classe: Chlorophyceae, Ordem: Sphaeropleales, Família: Scenedesmaceae, Gênero: *Tetradasmus*, Espécie: *Tetradasmus dimorphus*. Em sua composição contém teor de proteína de 8-18 %, carboidratos entre 21- 52% e lipídeo 16- 40% (BHAGEA; BHOYROO; PUCHOOA, 2019).

As microalgas, além da bioestimulação podem contribuir para mitigação dos estresses bióticos e abióticos nas plantas. Um dos indicadores mais comuns de estresse é a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) moléculas tóxicas, que possuem a capacidade de danificar células oxidativamente. Como mecanismo de sobrevivência as plantas produzem enzimas capazes de eliminar

essas formas de oxigênio reativo. A pesquisa mostra que os polissacarídeos de microalgas podem mitigar a toxicidade de ROS em plantas, aumentando a produção e atividade de enzimas antioxidantes de ROS (FARID et al., 2019).

2.3.2 NANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia é a ciência de materiais que estuda partículas com interfaces de dimensões extremamente pequenas. As nanopartículas tem grande área superficial e tamanhos da ordem de um a cem nanômetros, e podem ser sintetizadas a partir de inúmeros matérias, como titânio, ouro, prata silício, entre outros (CATIANA; JESUS, 2012).

As chamadas nanopartículas apresentam propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas ou químicas distintas de partículas e superfícies macroscópicas. A síntese dessas partículas pode ser por métodos químicos, físicos e biológicos. As nanopartículas sintetizadas de forma químicas e físicas podem resultar em toxicidade devido aos produtos químicos envolvidos nos métodos de preparação, limitando suas aplicações na agricultura, alimentos e aspectos de saúde. No entanto, a síntese biológica tem sido relatada como menos tóxica, melhor estabilidade, ambientalmente amigável e econômica (DUAN; WANG; LI, 2015).

A nanotecnologia está baseada na crescente capacidade da tecnologia em manipular átomos e partículas em nanoescala, com aplicações em diversas áreas como a medicina, eletrônica, indústria de alimentos meio ambiente e agricultura (CATIANA; JESUS, 2012).

As extensas aplicações de nanopartículas nos setores agrícolas abrangem nano biossensores, reguladores de crescimento de plantas, promotores de crescimento de plantas, nanofertilizantes, nanopesticidas, gerenciamento de nutrientes e proteção contra fitopatógenos (CHANDRA MOHANA et al., 2020).

Os benefícios do uso das nanopartículas incluem aumento da produtividade agrícola. Estão envolvidas em alguns processos como liberação lenta e dosagem eficiente de água e fertilizantes, nanocápsulas para entrega de herbicida e pesticidas no manejo de vetores e pragas, também nanosensores para detecção de pragas (CHANDRA MOHANA et al., 2020).

Outra aplicação da nanotecnologia na agricultura é a transferência de genes (ácido desoxirribonucleico – DNA) pelas nanopartículas, de modo que

algumas características desejadas possam ser transferidas para os tecidos da planta hospedeira para defesa contra os insetos-praga (ÁLVAREZ et al., 2017).

2.3.4 SILÍCIO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, encontrado na forma de óxidos (SiO_2), constituindo os minerais silicatados formadores de rochas e sedimentos como areia, silte e argila. Porém, o teor de Si solúvel e disponível para as plantas pode ser baixo em alguns solos em decorrência principalmente do teor de argila, mineralogia e textura do solo (DE CAMARGO et al., 2010).

Embora não seja considerado um elemento essencial, funções importantes foram observadas em várias espécies de plantas. Seu uso pode estimular o desenvolvimento e mitigar diversos estresses como: seca, calor, salinidade, toxicidade de metais entre outros (BHAT et al., 2021; VERMA et al., 2020, 2021).

De acordo com a capacidade de absorção e acúmulo de Si nos tecidos, as plantas podem ser classificadas em três grupos: plantas acumuladoras (100 a 150 g kg^{-1} de Si), intermediárias (10 a 50 g kg^{-1} de Si) e não-acumuladoras (concentrações abaixo de 5 g kg^{-1} de Si). A cana de açúcar é uma cultura considerada alta acumuladora de Si, com 10 e 15% de sua massa seca, assim como a cultura do arroz. Resultados de estudos prévios mostram o aumento significativo da resistência do arroz à lagarta enroladora das folhas (YE et al., 2013).

As ações do elemento nas plantas para a resistência aos estresses abióticos são divididas em dois grupos. Na resistência física, ocorre o acúmulo do Si na parede celular criando uma barreira contra a perda de água e melhorando a arquitetura das plantas em função da deposição do elemento na parede celular de folhas, caule e raízes. Já do ponto de vista fisiológico ocorre maior atividade fotossintética, supressão de pragas, resistência ao ataque de microrganismos fitopatogênicos, indução de reações metabólicas que formam compostos como fitoalexinas e lignina que beneficiam as plantas na tolerância à seca, potencializa a atividade de enzimas como quitinases, peroxidase e polifenoloxidasas (SANTOS et al., 2021).

Também atua beneficiando a ação de defesa antioxidativa das

plantas, em resposta ao estresse hídrico e aumento de temperatura, pois nestas condições as plantas acumulam peróxido de hidrogênio e prolina, onde o Si atua aumentando a resistência estomática e reduzindo o dano oxidativo em moléculas funcionais (SANTOS et al., 2021).

O Si tem papel central no aumento das defesas diretas e indiretas das plantas contra insetos pragas, por meio de um reforço nas barreiras físicas e mecanismos bioquímicos e moleculares que induzem respostas de defesa nas plantas, e estas podem agir sinergicamente promovendo uma defesa aplicada na planta (ALHOUSARI; GREGER, 2018).

Nanopartículas de silício têm características fisiológicas que permitem a entrada nas plantas e influenciem as atividades metabólicas, atuando também como nanocarreadores para diferentes moléculas (RASTOGI et al., 2019).

A Terra Diatomácea é uma rocha sedimentar formada por minerais de hidróxido de sílica, de natureza amorfa, sendo porosa e semelhante a giz terroso. Composta principalmente por restos de esqueletos de sílica de diatomáceas, compreende 86% como silício, 5% como Na, 3% como Mg e 2% como Fe, respectivamente e são acumuladas no sedimento de rios, córregos, lagos e oceanos durante um período de tempo. Possuem como principal vantagem ser 100% natural e resistente à infestação de insetos, possuindo características físicas distintas, a saber, o tamanho da partícula é muito pequeno, baixa condutividade térmica, baixa densidade, alta permeabilidade e porosidade (GOKAVI et al., 2021).

2.3.5 QUITOSANA

Além das algas, microalgas e o silício, outros compostos têm sido propostos para o uso como bioestimulantes, como a quitosana. Trata-se de um biopolímero (aminopolissacarídeo) com propriedades bastante atrativas: é natural extraído da quitina, caracterizado por ser um biopolímero renovável, de baixo custo, ampla disponibilidade, atóxico, biodegradável e biocompatível, que pode ser utilizado como bioestimulante na produção vegetal, melhorando o crescimento e desenvolvimento de plantas (LIMA; BONILLA; LUCENA, 2022).

Este biopolímero é encontrado comumente no “exoesqueleto de animais marinhos (anelídeos, moluscos, celenterados, lagosta, camarão, caranguejo e krill), artrópodes (aranha, escorpião, formigas e besouros) e microrganismos (algas

verdes, e marrons, leveduras, parede celular de fungos e esporos. É obtido pela desacetilação da quitina, através da ação enzimática ou hidrólise alcalina (ROLIM et al., 2018).

Na agricultura, pode ser usada em sistemas de defesa de plantas contra condições de estresse biológico e ambiental e como promotor de crescimento vegetal. Pode aumentar a condutância estomática e reduzir a transpiração ou ser aplicado como material de revestimento em sementes. Atua de forma eficaz na promoção de microrganismos benéficos e prolongando a vida de armazenamento por meio de tratamentos pós-colheita. Pode beneficiar a entrega de nutrientes às plantas, prevenindo a lixiviação e melhorando a liberação lenta de nutrientes em fertilizantes, além de remediar solos poluídos através da remoção de metais pesados (SHAHRAJABIAN et al., 2021).

2.3.6 INTERAÇÃO DE BIOESTIMULANTES

Alguns estudos demonstram o potencial dos bioestimulantes em melhorar o desempenho das culturas, seja através da sua composição ou dos seus efeitos na mitigação de estresses bióticos e abióticos.

Em termos de eficácia, existem três tipos de interações envolvendo bioestimulantes microbianos ou não com base em sua ação efetiva. Essas interações podem ser antagônicas, quando o efeito geral dos bioestimulantes aplicados em combinação, é menor que o efeito dos bioestimulantes aplicados individualmente. As interações podem ser aditivas, quando os bioestimulantes aplicados têm efeito semelhante nas plantas, portanto quando combinados obtém-se a soma de seus efeitos independentes. Ainda interações sinérgicas, observadas quando o efeito dos bioestimulantes combinados excede os efeitos aditivos dos mesmos, quando aplicados individualmente, nas mesmas condições (ROUPHAEL; COLLA, 2018).

No entanto, poucos registros são encontrados acerca das interações entre os bioestimulantes sobre as plantas. Brugnerotto, (2022) concluiu que misturas contendo silício, quitosana e algas marrons proporcionou aumento dos índices de clorofila Falker em tomate, assim como reduziu a incidência de oídio e mosca branca, quando as plantas além de receberem a misturas eram inoculadas com fungos micorrízicos.

Os autores Weber et al., (2018) concluíram que a aplicação foliar

de algas marinhas associadas ao silício pode ser considerada uma medida razoável na produção de morango orgânico em estufa, pois aumenta o rendimento total, e principalmente, o rendimento precoce de morangos.

Avanços significativos foram obtidos no estudo dos mecanismos fisiológicos e bioquímicos dos bioestimulantes, no entanto, pesquisas adicionais são necessárias para elucidar uma série de questões em aberto. Descobertas que tentaram desvendar a complexa ação de bioestimulação, particularmente as propriedades sinérgicas, sugerem maior interação entre a pesquisa e as indústrias, a fim de desenvolver uma nova geração de bioestimulantes (ROUPHAEL; COLLA, 2018).

3 **ARTIGO: EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE BIOESTIMULANTES À BASE DE MICROALGAS E MISTURAS DE BIOESTIMULANTES NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Resumo

A demanda por alimentos e energia gerada por uma população mundial em rápido crescimento, aumenta a pressão sobre o setor agrícola, que necessita cada vez mais elevar a produtividade ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação foliar de bioestimulantes produzidos através de Microalgas (*Spirulina platensis*, *Scenedesmus dimorphus* e *Chlorella vulgaris*) e formulações contendo nanopartículas de silício associadas à macroalgas e quitosana, em aspectos biométricos, produtividade, qualidade da matéria-prima, além de possível interferência no desenvolvimento de larvas de *Diatraea sacharalis* na cultura da cana-de-açúcar. Os dados foram coletados em dois ciclos consecutivos na cultura da cana-de-açúcar. O delineamento experimental utilizado foi de Blocos Casualizados, sendo no primeiro ciclo composto de 10 tratamentos e 4 repetições e no segundo ciclo 8 tratamentos e 5 repetições. As avaliações feitas a partir da medida de diâmetro de colmos (mm), número de gemas por planta, número de colmos por metro, altura de colmos e teor de clorofila; e no

período pós-colheita foram obtidas medidas de peso total, sobre qualidade da matéria prima avaliou-se: POL do caldo (porcentagem em massa de sacarose aparente), BRIX do caldo (porcentagem em massa de sólidos solúveis), pureza (relação POL/BRIX x100), porcentagem de fibras AR(açúcares redutores) e ATR(açúcares totais recuperáveis) Kg ton⁻¹ e ton ha⁻¹. Também avaliou-se o efeito dos bioestimulantes sobre a interferência negativa no desenvolvimento das larvas de *Diatraea sacharalis*. As larvas foram alimentadas com colmos das plantas previamente tratados com os bioestimulantes, e pesadas antes e após a alimentação para estimativa de ganho de peso. Observou-se com os dados obtidos que no primeiro ciclo o tratamento Spirudrop - a base da microalga *Spirulina platensis*+Zn foi o que mais incrementou a produtividade (27.22%) e a quantidade de toneladas de açúcar por hectare (23.54%) quando comparado a testemunha. No segundo ciclo houve diferença significativa para os tratamentos nos aspectos biométricos, para altura de colmos o tratamento que continha nanopartículas de Si na mistura com macroalgas e quitosana e Nutriscene (a base da microalga *S. Dimorphus* + Zn) apresentaram valores superiores à testemunha sem aplicação. Em e nº de gemas por colmo o tratamento que continha nanopartículas de Si na mistura com macroalgas e quitosana obteve a maior média em relação a testemunha, para a variável diâmetro de colmos todos os tratamento foram superiores a testemunha sem tratamento. As maiores médias de produtividade de cana-de-açúcar e toneladas de açúcar por hectare foram verificadas no tratamento que continha nanopartículas de Si na mistura com macroalgas e quitosana, chegando a obter acréscimo de 60.57% e 62.04% respectivamente quando comparado com a testemunha. Não houve diferenças no desenvolvimento das larvas de *D. sacharalis*, avaliado através do ganho de peso. Os resultados demonstram a capacidade dos bioestimulantes à base de microalgas e formulações contendo nanopartículas de Si na mistura com macroalgas e quitosana, de aumentar a produtividade, mesmo em face dos estresses enfrentados pela cultura, principalmente os abióticos.

Palavras-chave: Nanotecnologia; *Saccharum officinarum*; *Scenedesmus dimorphus*; *Spirulina platensis*; estresse abiótico.

Abstract

The demand for food and energy generated by a rapidly growing world population

increases pressure on the agricultural sector, which increasingly needs to increase productivity while reducing environmental impacts. The objective of the study was to evaluate the effect of the foliar application of biostimulants produced through Microalgae (*Spirulina platensis*, *Scenedesmus dimorphus* and *Chlorella vulgaris*) and formulations containing silicon nanoparticles associated with macroalgae and chitosan, in biometric aspects, productivity, quality of the raw material, in addition to possible interference with the development of *Diatraea saccharalis* larvae in sugarcane. Data were collected in two consecutive cycles in the sugarcane crop. The experimental design used was Randomized Blocks, with the first cycle consisting of 10 treatments and 4 repetitions and the second cycle 8 treatments and 5 repetitions. The evaluations made from the measurement of stem diameter (mm), number of buds per plant, number of stems per meter, stem height and chlorophyll content; and in the post-harvest period, measurements of total weight were obtained, regarding the quality of the raw material, the following were evaluated: POL of the broth (percentage by mass of apparent sucrose), BRIX of the broth (percentage by mass of soluble solids), purity (relation POL /BRIX x100), percentage of AR fibers (reducing sugars) and ATR (total recoverable sugars) Kg ton⁻¹ and ton ha⁻¹. The effect of biostimulants on the negative interference in the development of *Diatraea saccharalis* larvae was also evaluated. Larvae were fed with stems of plants previously treated with biostimulants, and weighed before and after feeding to estimate weight gain. It was observed with the data obtained that in the first cycle the Spirudrop treatment - based on the microalgae *Spirulina platensis*+Zn was the one that most increased productivity (27.22%) and the amount of tons of sugar per hectare (23.54%) when compared to witness. In the second cycle there was a significant difference for the treatments in the biometric aspects, for stem height the treatment that contained Si nanoparticles in the mixture with macroalgae and chitosan and Nutriscene (based on the microalgae *S. Dimorphus* + Zn) showed values higher than the control without application. In and number of buds per stem, the treatment that contained Si nanoparticles in the mixture with macroalgae and chitosan obtained the highest average in relation to the control, for the variable diameter of stems, all treatments were superior to the control without treatment. The highest averages of sugarcane productivity and tons of sugar per hectare were verified in the treatment that contained Si nanoparticles in the mixture with macroalgae and chitosan, reaching an increase of 60.57% and 62.04% respectively when compared to the control. There

were no differences in the development of *D. sacharallis* larvae, evaluated through weight gain. The results demonstrate the ability of microalgae-based biostimulants and formulations containing Si nanoparticles in a mixture with macroalgae and chitosan to increase productivity, even in the face of the stresses faced by the crop, mainly abiotic ones.

Keywords: Nanotechnology; *Saccharum officinarum*; *Scenedesmus dimorphus*; *Spirulina platensis*; abiótic stress.

3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, com estimativa de produção de 598,3454 milhões de toneladas em uma área total de 8307,3 mil hectares para a safra 22/23 segundo dados da CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento, (2022). A cultura é considerada uma das mais promissoras para a geração de energia limpa e renovável e deve tornar-se a segunda maior fonte de energia do mundo até 2030 (DE AZEVEDO; QUECINE, 2017). Com expressiva área plantada no território nacional a cana-de-açúcar juntamente com as culturas de soja e milho, a respondem por mais de 73% do consumo de fertilizantes no País (BRASIL, 2021).

Os agroquímicos são extremamente importantes para manter e melhorar a produção agrícola, mas em contrapartida, o uso indiscriminado dessas substancias, causam danos irreparáveis ao ambiente e a saúde humana (ALVAREZ et al., 2021; ROUPHAEL; COLLA, 2018; SARKAR et al., 2018).

A situação se agrava diante da demanda por alimentos gerada por uma população mundial em rápido crescimento, entre 9,4 e 10 bilhões de habitantes até 2050 (UNITED NATIONS, 2022), e também em face as mudanças climáticas que tem potencial de causar efeitos negativos diretos e indiretos na agricultura (ALPINO et al., 2020).

Os bioestimulantes vegetais são uma das mais proeminentes soluções sustentáveis, dada a sua origem natural e o seu potencial para substituir e

agregar aos métodos convencionais de fertilização na agricultura. Podem melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas, aumentar a absorção de nutrientes, o aproveitamento e teor de água, ao mesmo tempo em que melhoram o valor nutricional e a qualidade da produção (BALTAZAR et al., 2021; DU JARDIN, 2015).

Os efeitos bioestimulantes de algas marinhas têm sido evidenciados recentemente, porém seu uso como fonte de matéria orgânica e biofertilizante é antigo na agricultura. O extrato de algas marinhas pode ser utilizado para melhorar o desempenho de culturas, constituindo uma alternativa ecologicamente correta ao uso de fertilizantes (DU JARDIN, 2015). No entanto, o fato dessas serem colhidas diretamente do mar, sem um controle da produção, pode dificultar a padronização e a qualidade da matéria-prima para a fabricação dos bioestimulantes (SACCOMORI, 2021).

Em contrapartida as microalgas são um grupo heterogêneo de organismos fotossintetizantes que podem crescer em sistemas marinhos ou de água doce, multiplicando-se rapidamente e produzindo biomassa rica em compostos biologicamente ativos (ANDRADE et al., 2021; BORBA & FERREIRA CAMARGO, 2003). A adaptação a condições extremas permite seu cultivo em biorreatores com o aproveitamento de águas residuais de origem industrial, doméstica e agrícola diminuindo a descarga negativa no ambiente e reutilizando nutrientes de diferentes origens (CHIAIESE et al., 2018).

Assim como os bioestimulantes nanotecnologia permite extensas aplicações nos setores agrícolas abrangem nano biossensores, reguladores de crescimento de plantas, promotores de crescimento de plantas, nanofertilizantes, nanopesticidas, gerenciamento de nutrientes e proteção contra fitopatógenos (CHANDRA MOHANA et al., 2020).

Nanopartículas de silício têm características fisiológicas que permitem a entrada nas plantas e influenciando as atividades metabólicas, atuando também como nanocarreadores para diferentes moléculas (RASTOGI et al., 2019).

Embora o Silício não seja considerado um elemento essencial seu uso pode estimular o desenvolvimento e mitigar diversos estresses como: seca, calor, salinidade, toxicidade de metais entre outros em varias espécies de plantas (BHAT et al., 2021; VERMA et al., 2020, 2021).

Além das algas marinhas, microalgas e o silício, outros compostos têm sido propostos para o uso como bioestimulantes, como a quitosana. Trata-se de

um biopolímero (aminopolissacarídeo) natural, renovável, de baixo custo, ampla disponibilidade, atóxico, biodegradável e biocompatível, que pode ser utilizado melhorando o crescimento e desenvolvimento de plantas (LIMA; BONILLA; LUCENA, 2022).

Estes elementos, principalmente quando associados podem atuar sinergicamente. Possibilitando incrementos na fotossíntese e na produção, além da ativação contra estresses bióticos e abióticos. Os autores WEBER et al., 2018 concluíram que a aplicação foliar de algas marinhas em mistura com silício pode ser considerado uma ferramenta na produção de morango orgânico em estufa, pois aumenta o rendimento total, e o rendimento precoce de morangos.

Portanto, considerando a importância da cultura e os eventuais impactos dos estresses bióticos e abiótico sofridos durante seu ciclo, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação foliar de bioestimulantes produzidos através de Microalgas (*S. platensis*, *S. dimorphus* e *C. vulgaris*) e formulações contendo nanopartículas de silício associadas à macroalgas e quitosana, em aspectos biométricos, produtividade, qualidade da matéria-prima, além de possível interferência no desenvolvimento de larvas de *Diatraea sacharalis* na cultura da cana-de-açúcar.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em campo instalado no município de Cândido Mota, SP. Coordenadas S: 22° 47'26,4" W: 050°25'42,1".

O solo com relevo suavemente ondulado e bem drenado, classificado como latossolo vermelho com textura argilosa (Tipo 3), teor de argila maior ou igual a 35%, pH CaCl₂: 4.5 e níveis de M.O variando entre: 18 e 22 g dm³, enquanto os macro nutrientes encontram-se com níveis: Ca: 12 a 19 mmolc dm³, K: 0.4 a 0.7 mmolc dm³ e Mg: 4 a 5 mmolc dm³, o Al 1 a 3 mmolc dm³ e a CTC 56.4 a 78.7 mmolc dm³. O solo para análise foi coletado a 0-25 cm de profundidade.

O clima do município é tropical, com verão chuvoso e inverno seco. As médias de temperatura variam entre 15°C e 23 °C e devido à baixa altitude (479 m) está sob um regime pluviométrico com média anual variando de 1300 a 1600

mm.

3.2.2 Cultivar e manejo

Utilizou-se a cultivar CTC 4 do Centro de Tecnologia Canaveira de que possui adaptabilidade ao plantio e colheita mecanizada, alto índice de perfilhamento, produtividade (TCH - tonelada de cana por hectare) e teores de açúcar elevados. O material possui moderada resistência as ferrugens, portanto recomenda-se evitar o plantio nos meses de Janeiro e fevereiro, assim como estender a colheita além de setembro. A recomendação para o plantio desta variedade é de 30 gemas por metro.

O plantio da área experimental foi realizado em agosto de 2020, com adubação de base de 500 kg ha⁻¹ da formulação 10.25.25. A adubação de cobertura foi realizada em dezembro de 2020 com 100 kg ha⁻¹ de uréia (45.00.00) a lanço. Também efetuou-se o controle de plantas daninhas e insetos praga com aplicações de herbicidas e inseticidas durante o ciclo e conforme recomendação técnica. A primeira colheita ocorreu em agosto de 2021.

Para o segundo ciclo da cultura foi realizada adubação de manutenção de soqueira com 1300 kg ha⁻¹ da formulação 20.05.20, aplicações de herbicida e inseticida conforme a recomendações técnicas para a área durante o ciclo. A colheita do segundo ciclo foi feita em setembro de 2022.

Para a área do bioensaio, o plantio da mesma variedade já descrita ocorreu em março de 2022, com a mesma adubação de base e manejo de plantas daninhas com herbicidas.

3.2.2.1 Primeiro ciclo:

Para o primeiro ciclo, o experimento foi instalado em Delineamento de Blocos casualizado (DBC). A área de cada parcela media 60 m², compostas por quatro linhas com espaçamento de 1,5 metros entre si e comprimento de 10 metros, composto por 10 tratamentos e 4 repetições, totalizando 40 parcelas. Os bioestimulantes utilizados foram os descritos na **Tabela 1**:

Tabela 1. Bioestimulantes aplicados via foliar em cana-de-açúcar no primeiro ciclo de produção, Cândido Mota - SP, 2021.

Produtos e doses kg-L Ha ⁻¹						
Tratamento	Produto 1	Dose kg-L ha ⁻¹	Produto 2	Dose kg-L ha ⁻¹	Produto 3	Dose kg-Lha ⁻¹
T1	Tcrop Si	2,0	Tcrop Active	0,3	Tcrop Power Cup	0,5
T2	Verogreen+Zn	3,0	***	***	***	***
T3	Spirudrop+Zn	3,0	***	***	***	***
T4	Nutriscene+Zn	3,0	***	***	***	***
T5	Booster Zn Mo	0,5	***	***	***	***
T6	Titanium	2,0	***	***	***	***
T7	Acadian	3,0	***	***	***	***
T8	Stimulate	0,6	***	***	***	***
T9	Algaren	2,0	***	***	***	***
T10	Sem aplicação	***	***	***	***	***

*** sem aplicação

Os produtos foram aplicados em fevereiro de 2021, estando a cultura em estágio de alongação dos colmos com intenso desenvolvimento vegetativo aos 180 dias aproximadamente. A aplicação foi realizada via foliar com pulverizador costal elétrico e vazão de 150L ha⁻¹.

Na **tabela 2** é descrita a composição de cada bioestimulante utilizado no primeiro ciclo. No produto Tec Crop Active, o extrato de alga é feito a partir da alga marrom *Ascomphyllum nodosum* e o produto Tec crop power cup possui a quitosana decomposta na forma de D-glucosamina.

Tabela 2. Composição dos Bioestimulantes utilizados no Primeiro Ciclo da cultura cana-de-açúcar em aplicação foliar, Cândido Mota –SP – 2021.

Tratamento	Produto	Composição
T1	Tec Crop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
T1	Tec Crop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
T1	Tec Crop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
T2	Verogreen+Zn	Formulação a base de microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> + Zn
T3	Spirudrop+Zn	Formulação a base de microalgas <i>Spirulina platensis</i> + Zn
T4	Nutriscene+Zn	Formulação a base de microalgas <i>Scenedesmus dimorphus</i> + Zn
T5	Booster Zn Mo	Extrato de Algas marinhas <i>Ecklonia maxima</i> /Óxido de Zinco 5%/Molibdato de Sódio 15%
T6	Titanium	N 10%; Mo 0,3%; B 1%; Cu 0,5%; Mn 0,5%; Zn 2,5%; Mg 1% aminoacidos 14%
T7	Acadian	Produto comercial 100% extrato natural de alga marinha <i>Ascomphyllum nodosum</i>
T8	Stimulate	Cinetina 0,009 % m/v/Ácido giberélico (como GA3) 0,005 % m/v/Ácido 4-indol-3IL Butírico 0,005 % m/v
T9	Algaren	Produto comercial líquido à base de boro e zinco complexados por extratos de algas <i>Ecklonia maxima</i>)
T10	Testemunha	Sem aplicação

3.2.2.2 Segundo ciclo:

Para o segundo ciclo, o experimento foi instalado com Delineamento em Blocos casualizados. As área de cada parcela media 60 m², compostas por quatro linhas com espaçamento de 1,5 metros entre elas e comprimento de 10 metros, composto por 8 tratamentos e 5 repetições, totalizando 40 parcelas. Os produtos utilizados foram os descritos na **Tabela 3**:

Tabela 3. Bioestimulantes aplicados via foliar em cana-de-açúcar no segundo ciclo de produção, Cândido Mota – SP - 2022.

Produtos e doses kg-L ha ⁻¹						
Tratamento	Produto 1	Dose kg-L ha ⁻¹	Produto 2	Dose kg-L ha ⁻¹	Produto 3	Dose kg-L ha ⁻¹
T1	***	***	***	***	***	***
T2	Tcrop Si	2,0	Tcrop Active	0,3	Tcrop Power Cup	0,5
T3	Tcrop Si	2,0	Tcrop Active	0,3	Tcrop Power Cup	0,5
T3*	Tcrop Power Zn	0,5	Tcrop Soil	5,0	***	***
T4	Verogreen+Zn	3,0	***	***	***	***
T5	Spirudrop+Zn	3,0	***	***	***	***
T6	Nutriscene+Zn	3,0	***	***	***	***
T7	Algaren	2,0	***	***	***	***
T8	Acadian	3,0	***	***	***	***

T3* - Aplicação adicional modalidade drench para o tratamento T3

Os produtos foram aplicados via foliar com pulverizador costal elétrico e vazão de 150L ha⁻¹ exceto T3* que foi aplicado na modalidade drench, que é a aplicação de produtos em jato dirigido no solo, na projeção abaixo da copa da planta, onde se encontra o sistema radicular dela.

As aplicações foram feitas em março de 2022 estando a cultura em estágio de alongação dos colmos com intenso desenvolvimento vegetativo aos 180 dias aproximadamente.

Na **tabela 4.** É descrita a composição de cada produto utilizado no segundo ciclo.

Tabela 4. Composição dos Bioestimulantes utilizados no Segundo Ciclo da cultura de cana-de-açúcar em aplicação foliar, Cândido Mota - SP - 2022

Tratamento	Produto	Composição
T1	Testemunha	Sem aplicação
T2	Tec Crop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
T2	Tec Crop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
T2	Tec Crop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
T3	Tec Crop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
T3	Tec Crop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
T3	Tec Crop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
T3*	Tec Crop Power Zn	53% de sulfato de zinco/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
T3*	Tec crop Soil	44% de dióxido de silício/16,5% de carbonato de cálcio/8,1% de extrato de algas
T4	Verogreen+Zn	Formulação a base de microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> + Zn
T5	Spirudrop+Zn	Formulação a base de microalgas <i>Spirulina platensis</i> + Zn
T6	Nutriscene+Zn	Formulação a base de microalgas <i>Scenedesmus dimorphus</i> + Zn
T7	Algaren	Produto comercial líquido à base de boro e zinco complexados por extratos de algas (<i>Ecklonia maxima</i>)
T8	Acadian	Produto comercial 100% extrato natural de alga marinha <i>Ascophyllum nodosum</i>

3.2.3 Avaliações nos Ensaios Experimentais

3.2.3.1 Primeiro ciclo da cultura

No primeiro ciclo foram realizadas avaliações 30 e 60 dias após a aplicação. Avaliou-se número de gemas, diâmetro de colmos (cm) com paquímetro no terço médio dos colmos, em dez plantas de cada parcela selecionadas ao acaso.

Também avaliou-se o Índice de Clorofila Falker (ICF) através de medidor de clorofila ClorofiLOG Modelo CFL 1030 (FALKER, 2009) após 30 e 60 dias da aplicação dos bioestimulantes; para obtenção deste índice foram avaliadas aleatoriamente cinco plantas por parcela, e em cada planta foram realizadas três amostragens nas folhas +1, 0 e +2 conforme sistema de Kuijper. (ROSSETO, 2021 apud DILLEWIJN, 1952.)

Na colheita em setembro de 2021, determinou-se a quantidade de plantas por 5 metros lineares, para cálculo de plantas por metro linear. Também foram colhidas 10 plantas de cada parcela rente ao solo. As pontas contendo as folhas foram separadas, utilizando-se somente os colmos que foram pesados em balança digital. Com estes dados estimou-se o rendimento por hectare.

Para o primeiro ciclo avaliado, a análise das características do caldo foi feita a partir de uma amostra representativa de cada tratamento, formada por duas plantas de cada repetição, totalizando 10 amostras que foram levadas para o laboratório da Usina Água Bonita em Tarumã - SP, onde foram trituradas, homogeneizadas e prensadas, em prensa hidráulica, individualmente para obtenção do caldo. Através de refratômetro, determinou-se medida BRIX% (teor de sólidos solúveis). Após clarificado, através de sacarímetro, determinou-se o teor de sacarose POL % (Porcentagem sacarosa aparente) do caldo. Com estes dados determinou-se Pureza % (relação POL/BRIX x100), AR % (açúcares redutores), ATR kg⁻¹ (açúcares totais recuperáveis) e Fibra%. Os dados obtidos de ATR kg⁻¹ (açúcares totais recuperáveis) foram utilizados para calcular o rendimento da produção de açúcar em ton ha⁻¹, o cálculo foi realizado através da fórmula:

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

Onde: TAH= toneladas de açúcar por hectare

TCH= toneladas de cana por hectare

ATR= açúcares totais recuperáveis

3.2.3.2 Segundo ciclo da cultura

No segundo ciclo, avaliou-se o número de plantas por metro (amostras de 5 metros). As demais avaliações foram feitas //no momento da colheita ocorrida em setembro de 2022. Avaliou-se o número de gemas, diâmetro de colmos (cm), altura de plantas (m). As medidas foram feitas em dez plantas colhidas rente ao solo em cada parcela, selecionadas ao acaso. A seguir os colmos foram pesados em balança digital, e estimou-se o rendimento por hectare. As amostras foram encaminhadas para o laboratório da Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana (ASSOCANA) que fica no município de Assis-SP. As amostras foram trituradas, homogeneizadas e prensadas, em prensa hidráulica, individualmente para obtenção do caldo. Determinou-se então BRIX% (teor de sólidos solúveis) através do refratômetro, que tem como objetivo medir a refração dos sólidos solúveis contido na solução açucarada. Após clarificado, em um sacarímetro, determinou-se a POL % (Porcentagem sacarosa aparente). Assim calculou-se Pureza % (relação POL/BRIX x100), AR % (açúcares redutores), ATR kg-1 (açúcares totais recuperáveis) e Fibra%. O dados obtidos de ATR kg-1 (açúcares totais recuperáveis) foram utilizados para calcular o rendimento da produção de açúcar em ton ha⁻¹, o cálculo foi feito através da fórmula:

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

Onde: TAH= toneladas de açúcar por hectare

TCH= toneladas de cana por hectare

ATR= açúcares totais recuperáveis

3.2.4 Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de Normalidade dos resíduos e Homocedasticidade das variâncias. Atendidos estes pressupostos foram realizadas a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se Software R pacote Agro R.

3.2.5 Mortalidade e Ganho de Peso de *Diatraea sacharalis*

3.2.5.1 Local experimental

O bioensaio para avaliação da influência das aplicações de bioestimulantes em cana-de-açúcar na mortalidade no desenvolvimento da broca-da-cana (*Diatraea sacharallis*) foi conduzido no Laboratório de Entomologia da Universidade Estadual de Londrina (UEL) – Londrina – PR.

3.2.5.2 Obtenção e manutenção: material vegetal e insetos

As larvas de *Diatraea sacharallis* foram obtidas junto à Empresa MCPC – Controle Biológico – Tarumã- SP. Foram utilizadas cinco larvas de terceiro ínstar em caixas gerbox sobre papel filtro. Porções de 10 cm de colmos das plantas tratadas previamente com os bioestimulantes foram fornecidas como alimento. As caixas gerbox foram mantidas 15 dias em ambiente controlado através de estufa BOD (Biological Demand Oxygen) com temperatura entre 25 e 26 ° C.

Os colmos utilizados para o bioensaio foram provenientes de área experimental, implantada no município de Cândido Mota- SP no mesmo local onde ocorreu o ensaio de pulverização, conforme descrito anteriormente. Estas foram previamente tratadas com os bioestimulantes, por meio de pulverização foliar com 15 dias de antecedência do bioensaio. As aplicações foram feitas em parcelas de 4 linhas espaçadas 1,5 metros entre si com comprimento de 10 metros, o ensaio de aplicação era composto por 10 tratamentos conforme **Tabela 5**. As plantas estavam em estágio vegetativo - aproximadamente 180 dias do plantio, período no qual a praga tem maior facilidade em perfurar o colmo.

Tabela 5. Aplicação Foliar de Bioestimulantes na cana-de-açúcar para alimentação *D. sacharalis* com avaliação de desenvolvimento e mortalidade.

Bioestimulantes doses kg-L ha ⁻¹						
Tratamento	Produto 1	Dose kg-L ha ⁻¹	Produto 2	Dose kg-L ha ⁻¹	Produto 3	Dose kg-L ha ⁻¹
T1	***	***	***	***	***	***
T2	Tcrop Si	1,0	Tcrop Active	0,15	Tcrop Power Cup	0,25
T3	Tcrop Si	1,0	Tcrop Active	0,15	Tcrop Power Cup	0,25
T3*	Tcrop Power Zn	0,3	Tcrop Soil	0,3	***	***
T4	Tcrop Si	2,0	Tcrop Active	0,3	Tcrop Power Cup	0,5
T5	Tcrop Si	2,0	Tcrop Active	0,3	Tcrop Power Cup	0,5
T5*	Tcrop Power Zn	0,5	Tcrop Soil	5,0	***	***
T6	Tcrop Si	4,0	Tcrop Active	0,6	Tcrop Power Cup	1,0
T7	Tcrop Si	4,0	Tcrop Active	0,6	Tcrop Power Cup	1,0
T7*	Tcrop Power Zn	1,0	Tcrop Soil	10,0	***	***
T8	Spirudrop	3,0	***	***	***	***
T9	Spirudrop+Zn	3,0	***	***	***	***
T10	Nutriscene	3,0	***	***	***	***

T3*, T5*, T7* - Aplicação adicional modalidade drench para os respectivos tratamentos T3, T5 e T7

*** Testemunha sem aplicação

Na Tabela 6. é descrita a composição dos bioestimulantes aplicados para o montagem Bioensaio com as larvas de *D. sacharalis*.

Tabela 6. Composição dos Bioestimulantes aplicados em cana-de-açúcar para alimentação de larvas de *D. sacharalis*.

Tratamento	Bioestimulante	Composição
T1	Testemunha	Sem aplicação
T2	Tcrop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
	Tcrop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
	Tcrop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
T3	Tcrop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
	Tcrop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
	Tcrop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
T3*	Tcrop Power Zn	53% de sulfato de zinco/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
	Tcrop Soil	44% de dióxido de silício/16,5% de carbonato de cálcio/8,1% de extrato de algas
	Tcrop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
T4	Tcrop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
	Tcrop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
	Tcrop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
T5	Tcrop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
	Tcrop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
T5*	Tcrop Power Zn	53% de sulfato de zinco/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
	Tcrop Soil	44% de dióxido de silício/16,5% de carbonato de cálcio/8,1% de extrato de algas
	Tcrop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
T6	Tcrop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
	Tcrop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
	Tcrop Si	68,2% de terras diatomácea (Dioxido de Si) /31,8% carbonato de cálcio
T7	Tcrop Active	30% de sulfato de cobre/17,5% de extratos de algas
	Tcrop Power Cup	40% de sulfato de cobre/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
T7*	Tcrop Power Zn	53% de sulfato de zinco/3,5% de aminos (poli-D glucosaminas)
	Tcrop Soil	44% de dióxido de silício/16,5% de carbonato de cálcio/8,1% de extrato de algas
T8	Spirudrop	<i>Spirulina platensis</i> + fonte de carbono e leveduras
T9	Spirudrop+Zn	<i>Spirulina platensis</i> +Zn
T10	Nutriscene	<i>Scenedesmus dimorphus</i>

T3*, T5*, T7* - Aplicação adicional modalidade drench para os respectivos tratamentos T3, T5 e T7

O experimento foi conduzido no modelo (DBC) Delineamento de Blocos Casualizados, com 10 tratamentos e 6 repetições.

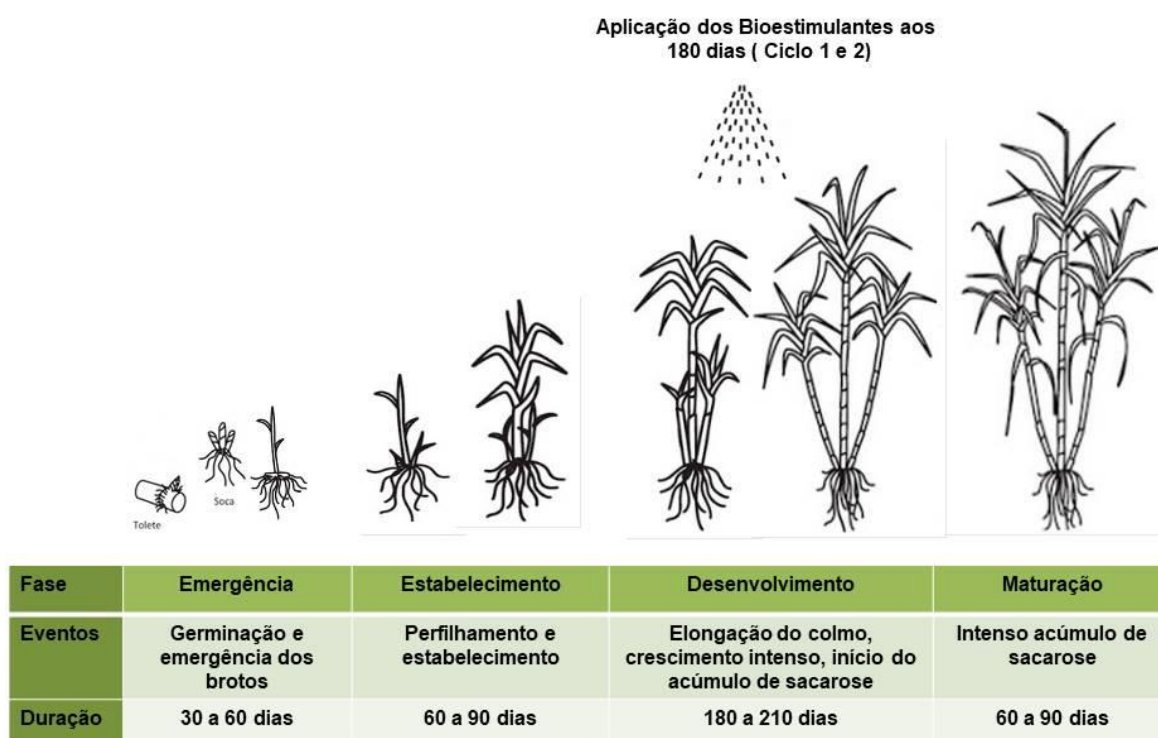
3.2.5.3 Avaliação para determinação de ganho peso e mortalidade

As lagartas permaneceram por 15 dias sem chance de escolha de alimentação. Após este período, a performance larval foi calculada com a percentagem de ganho de peso, e a taxa de mortalidade. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas por teste de Tukey a 5% de significância.

3.2.6 Dados Climáticos Regionais e Estádios Fenológicos da Cultura

Na **Figura 1** estão representados os estádios fenológicos da cultura da cana-de-açúcar, com os principais eventos correspondentes e a duração de cada um. Além do momento em que ocorreu a aplicação dos Bioestimulantes.

Figura 1 Estádios de Desenvolvimento da cana-de-açúcar com principais eventos, duração e época de aplicação dos Bioestimulantes.



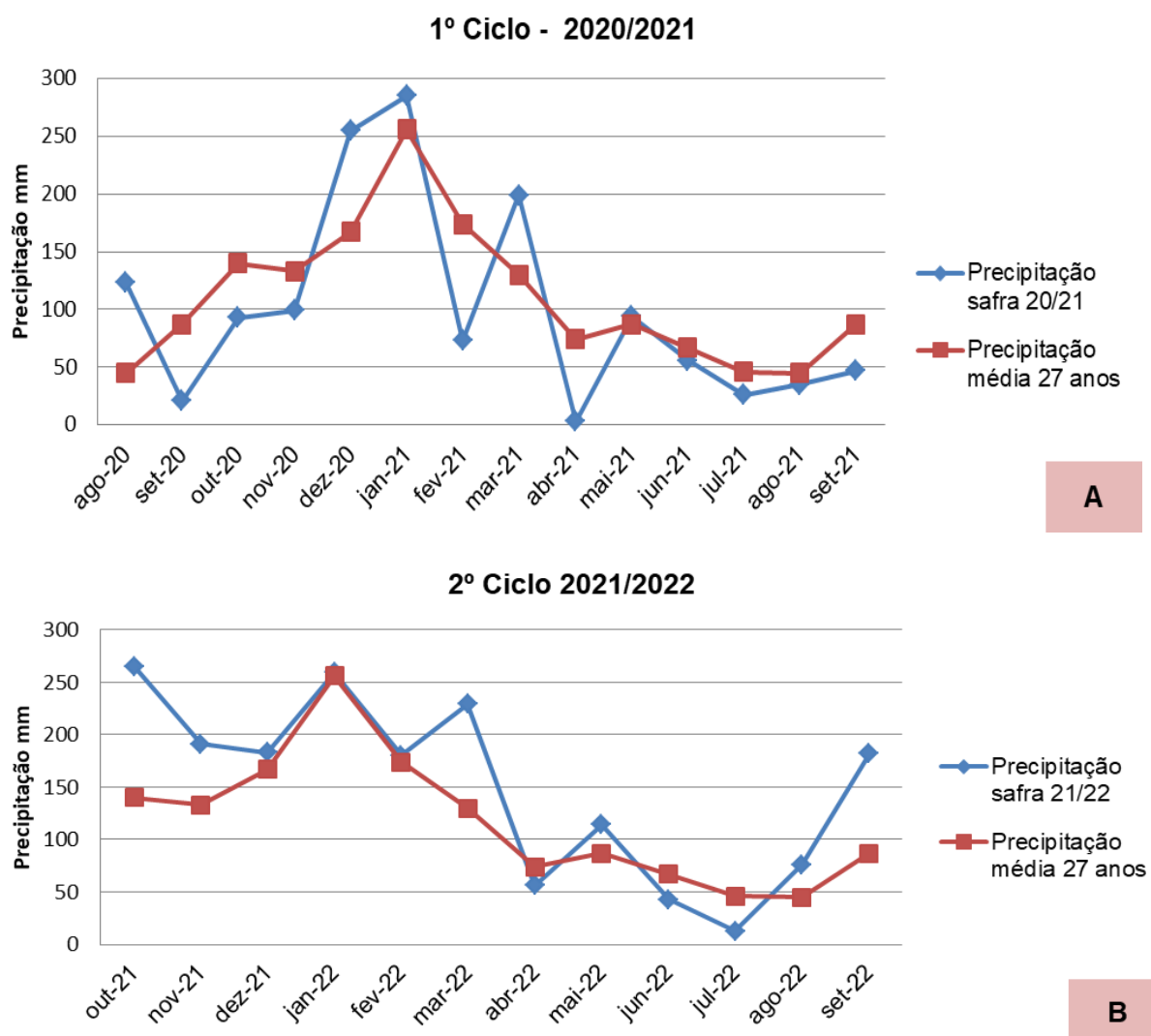
Fonte: ISMAEL, (2016) apud Gascho & Shih (1983) adaptado pelo autor.

Os dados climáticos para os dois ciclos foram obtidos junto à estação meteorológica

da Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana (ASSOCANA) em Assis-SP.

Na Figura 2 temos as precipitações pluviométricas dos períodos em que a cultura avaliada esteve implantada e submetida aos tratamentos propostos:

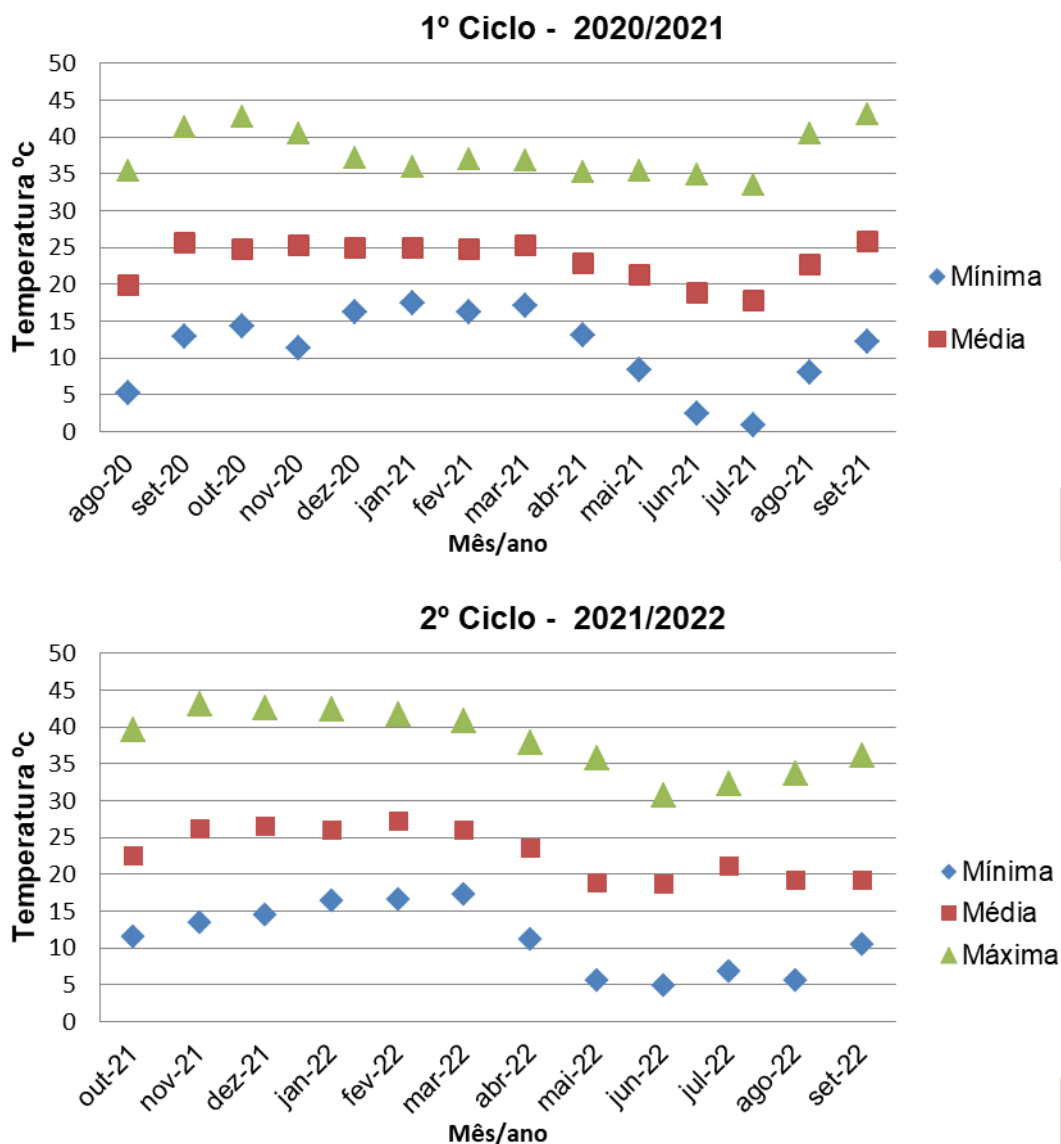
Figura 2 Comparativo de Precipitações Pluviométricas dos meses referentes ao ciclos da cultura com Média Histórica de 27 anos: A – 1º Ciclo e B – 2º Ciclo



Fonte: Assocana adaptado pelo autor

Na **Figura 3**, temos as temperaturas mínima, média e máximas dos dois ciclos.

Figura 3 Temperaturas mínima média e máximas dos meses referentes ao ciclo da cultura: A – 1º Ciclo e B – 2º Ciclo



Fonte: Assocana adaptado pelo autor

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Primeiro Ciclo de Avaliações

No primeiro ciclo de avaliações, com colheita ocorrida em setembro de 2021 obtivemos resultados de parâmetros biométricos, produtividade e análise do caldo. Para os parâmetros biométricos: índice de clorofila Falker (ICF), diâmetro de colmo (cm), número de gemas por colmo, e número de colmos por metro, nossos valores foram similares entre os diferentes tratamentos. Quanto a produtividade, verificou-se que houve diferenças entre os tratamentos pela análise de variância (**Tabela 7.**).

Tabela 7. Quadro de Análise de Variância - Produtividade de Cana-de-açúcar com aplicação de diferentes bioestimulantes

Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	Pr>Fc
Blocos	3	444,36	148,12	1,248	2,9601	0.311897
Tratamentos	9	3325,4	369,49	*3,113	2,2501	0.010652
Resíduo	27	3204,7	118,69			
Total	39	6974,5				
C.V.		10,56%				

*significativo ao nível 5%

Na **Tabela 8.** observa-se as classificações das médias de produtividade da cana-de-açúcar por ha⁻¹ e também as médias de rendimento em açúcar totais recuperáveis (ATR), em ton ha⁻¹ (calculado pela fórmula TCH - tonelada de cana por hectare x ATR – Açúcares totais Recuperáveis/1000).

Tabela 8. Médias de Produtividade: Cana-de-açúcar em ton ha⁻¹ e Açúcar em t ha⁻¹ submetida a diferentes tratamentos com bioestimulantes, Cândido Mota - SP, 2021.

Tratamentos	Bioestimulantes	Médias ton ha ⁻¹ cana	Médias ton ha ⁻¹ açúcar
Trat. 01	T Crop Si+Active+P.Cup	106,22 ab	15,61 ab
Trat. 02	Verogreen + Zn	113,46 ab	17,47 ab
Trat. 03	Spirudrop + Zn	120,72 a	18,42 a
Trat. 04	Nutriscene + Zn	109,72 ab	17,41 ab
Trat. 05	Booster Zn Mo	94,84 ab	15,00 ab
Trat. 06	Titaniun	90,04 b	13,89 b
Trat. 07	Acadian	97,87 ab	15,07 ab
Trat. 08	Stimulate	98,65 ab	15,40 ab
Trat. 09	Algaren	105,66 ab	15,91 ab
Trat. 10	Testemunha	94,88 ab	14,91 ab
C.V		10,56%	10,55%
P-valor		0,01065	0,01751

*Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As produções nos tratamentos T1, T2, T3, T4, T5, T7, T8, T9 e T10 foram similares. A produção do tratamento T3 foi superior ao T6. O T3 - Spirudrop +Zn formulado a partir da microalga – *Spirulina platensis* +Zn dose de 3 L ha⁻¹, foi o tratamento no qual houve maior incremento da produtividade, e rendimento. Quando comparado com a T10 - Controle sem aplicação - o incremento chega a 27.22% o que corresponde a 25,83 toneladas de cana por hectare ha⁻¹, ou 3.51 ton (23.54%) de açúcar.

Como no primeiro ciclo a análise do caldo foi feita de uma amostra representativa de cada tratamento, formada por duas plantas de cada repetição, não foram conduzidas comparações estatísticas. Na **Tabela 9**. Estão descritas as características analisadas em relação a qualidade da matéria-prima: POL (sacarose aparente), pureza, ATR (açúcares totais recuperáveis) na cana, AR (teor de açúcares redutores, porcentagem de fibras. Apenas os dados de ATR dos tratamentos foram utilizados para cálculo de TAH (toneladas de açúcar por hectare), conforme mostrado anteriormente.

Segundo dados da Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana (ASSOCANA,2022) para a segunda quinzena de setembro de 2021 a quantidade média de ATR kg ton⁻¹ para os

fornecedores da região de atuação era de 146,95 kg ton⁻¹, portanto todos os tratamentos estavam com valores acima da média.

Tabela 9. Análise Matéria - prima Primeiro ciclo cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos com bioestimulantes.

Tratamento	POL%	BRIX%	Pureza%	AR%	ATR Kg ton ⁻¹	FIBRA%
T1	17,3	19,41	89,13%	0,5	146,96	11,49
T2	18,18	20,15	90,22%	0,47	153,93	11,46
T3	18,09	20,11	89,96%	0,48	152,61	11,72
T4	18,77	20,44	91,83%	0,42	158,69	11,35
T5	18,9	20,65	91,53%	0,42	158,12	11,95
T6	18,16	20,14	90,17%	0,47	154,3	11,28
T7	18,15	19,95	90,98%	0,45	153,93	11,3
T8	18,57	20,39	91,07%	0,44	156,13	11,76
T9	17,66	19,47	90,70%	0,46	150,6	11,07
T10	18,69	20,4	91,62%	0,43	157,15	11,7

3.3.2 Segundo Ciclo de Avaliações

No segundo ciclo, para os parâmetros biométricos: número de plantas por metro, número de gemas por colmo, diâmetro do colmo obtiveram os resultados apresentados na **Tabela 10.**:

Tabela 10. Médias de nº Plantas por metro, altura de colmos- m, nº Gemas por colmo, Diâmetro do colmo - cm referentes ao 2º ciclo da cultura de cana-de-açúcar tratada com bioestimulantes

Tratamentos	nº Plantas/m	Altura de colmos - m	nº Gemas por colmo	Diâmetro do colmo - cm
T1	12,1 a	1,80 b	17,06 b	1,89 b
T2	12,0 a	2,26 a	22,02 a	2,41 a
T3+T3*	12,0 a	2,15 ab	20,94 a	2,37 a
T4	11,7 a	2,11 ab	22,16 a	2,43 a
T5	11,7 a	2,13 ab	20,52 a	2,24 a
T6	11,1 a	2,18 a	20,54 a	2,36 a
T7	11,0 a	2,08 ab	20,4 a	2,34 a
T8	11,0 a	2,05 ab	19,44 ab	2,31 a
C.V	13,42%	8,61%	7,75%	6,60%
P-valor	0,85179	0,02325	0,00071	0,00014

*Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores similares de número de plantas por metro foram obtidos entre os tratamentos. Para a altura dos colmos, T2 (mistura bioestimulante Tec crop Si+Tec Crop Active+Tec Crop Power Cup) e T6 - Nutriscene (*S. Dimorphus* +Zn)

apresentaram valores superiores à T1(testemunha sem aplicação). Em relação ao número de gemas por colmo, os tratamentos os T2, T3, T4 T5 T6 e T7 foram superiores ao tratamento T1. Para a variável diâmetro de colmos, todos tratamentos foram superiores ao T1.

Na **tabela 11.** é apresentada a análise de variância de Produção referente ao segundo ciclo da cultura, onde verificamos que houve diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5%.

Tabela 11. Quadro de Análise de Variância - Produtividade de cana-de-açúcar com aplicação de diferentes bioestimulantes

Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	Pr>Fc
Blocos	4	2137,95	534,486	2,4697487	2,71406	0,06764
Tratamentos	7	6167,3	881,043	*4,0711144	2,35926	0,0034
Resíduo	28	6059,57	216,413			
Total	39	14364,8				
C.V.		15,55%				

*significativo ao nível 5%

Na **Tabela 12.** observa-se as médias de produtividade de cana-de-açúcar em ton ha⁻¹ e as médias de produtividade de Açúcar em ton ha⁻¹.

Tabela 12. Médias de Produtividade: Cana-de-açúcar em ton ha⁻¹ e Açúcar em t ha⁻¹ submetida a diferentes tratamentos com bioestimulantes, Cândido Mota – SP, 2022

Tratamentos	Bioestimulantes	Médias ton ha ⁻¹ cana	Médias ton ha ⁻¹ açúcar
Trat. 01	Testemunha	71,66 c	11,93 b
Trat. 02	T. Crop (Si+Active+PCup)	118,30 a	19,23 a
Trat. 03	T. Crop (Si+Active+Pcup+Pzinc+Soil)	98,40 abc	15,97 ab
Trat. 04	Verogreen+Zn	102,32 ab	16,32 ab
Trat. 05	Spirudrop+Zn	90,90 abc	15,00 ab
Trat. 06	Nutriscene+Zn	95,82 abc	15,68 ab
Trat. 07	Algaren	87,54 bc	14,36 ab
Trat. 08	Acadian	92,05 abc	14,83 ab
C.V		15,55%	17,19%
Pvalor		0,00340	0,01758

*Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o parâmetro produtividade da cana, T2 (T.Crop (Si+Active+PCup) foi superior ao T7 (Algaren) e T1(Testemunha - sem aplicação) (**Tabela 12.**) O tratamento T4 - Verogreen (*C. vulgaris* + Zn) também difere

estatisticamente de T1(Testemunha - sem aplicação). T2 T.Crop (Si+Active+PCup) também obteve médias superiores em toneladas de açúcar por há quando comparado a T1 (Testemunha sem aplicação).

Os parâmetros avaliados no caldo: POL (sacarose aparente), pureza, ATR (açúcares totais recuperáveis), AR (teor de açúcares redutores) e porcentagem de fibras, foram similares entre os tratamentos. Segundo dados da Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana (ASSOCANA,2022) para a segunda quinzena de setembro de 2021 a quantidade média de ATR kg ton⁻¹ para os fornecedores da região de atuação era de 149,97 kg ton⁻¹, portanto todas os tratamentos estavam com valores acima dessa média. Abaixo segue a **Tabela 13.** com as médias para tais parâmetros.

Tabela 13.- Análise da Matéria - prima – Segundo Ciclo da Cultura submetida a diferentes tratamentos com bioestimulantes

Tratamento	POL%	BRIX%	Pureza%	AR%	ATR Kg ⁻¹	FIBRA%
T1	20,31	21,428	94,8	0,390	166,336	12,808
T2	20,19	21,312	95,1	0,380	162,312	12,844
T3	19,958	21,238	94,5	0,400	162,188	12,934
T4	19,832	21,078	95,0	0,384	159,654	12,738
T5	19,832	20,994	94,7	0,392	165,082	12,908
T6	19,774	20,904	94,7	0,394	163,712	12,744
T7	19,588	20,852	94,4	0,402	163,616	13,036
T8	19,464	20,5	93,7	0,430	160,752	12,844
C.V%	2,51 NS	2,10	1,10	8,8	2,47	2,45
P-valor	0,173	NS0,062	NS0,498	NS0,469	NS0,214	NS0,822

NS- Não significativo

As necessidades hídricas para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar vão de 1.500 a 2.500 milímetros. Entre 1200 a 1300 mm desde que bem distribuídos durante o ciclo são suficientes para a cultura atingir seu potencial máximo produtivo. Cada fase da cultura apresenta uma demanda hídrica específica, com valores maiores para as fases de perfilhamento e alongação (DOMINGUES, 2010).

Podemos observar que no primeiro ciclo, as médias de precipitação para o início do ciclo ficaram abaixo da média de 27 anos, principalmente para os meses de setembro, outubro e novembro, período de perfilhamento da cultura e

também em fase de alongação dos colmos nos meses de fevereiro e abril.

Além da possibilidade limitação hídrica podemos observar que, no primeiro ciclo, os meses de maio, junho e julho de 2021, em que as plantas ainda estavam em fase de alongação dos colmos, temperaturas médias ficaram abaixo do ideal para o desenvolvimento da cultura que é de 22 a 30° C. As temperaturas abaixo de 20° C reduzem o crescimento, e pode prejudicar a produção, porém tornam-se ideais para a planta iniciar a maturação (NECHET; RAMOS; VIEIRA, 2016).

Da mesma forma, no segundo ciclo, para os meses de junho e julho, as precipitações foram inferiores à média histórica estando a cultura em fase final de alongação. E temperaturas abaixo de 20 ° C nos meses de maio e junho, no período de maior desenvolvimento, para este segundo ciclo também foram registradas.

Desta forma, é provável que, para os dois ciclos avaliados, a cultura tenha passado por algumas de limitações hídricas e ou térmicas, em diferentes momentos em cada ciclo do seu desenvolvimento.

É possível que, os resultados apresentados, representem, em algum grau, a possibilidade dos bioestimulantes em mitigar os estresses abióticos como déficit hídrico e temperaturas extremas. Os bioestimulantes aplicados em plantas tem o objetivo de aumentar sua eficiência nutricional, incrementar a produção a tolerância ao estresse biótico e abiótico ou suas características de qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes (DU JARDIN, 2015; DA SILVA, 2020, MAPA, 2021).

No primeiro ciclo as maiores médias de produtividade foram obtidas com o tratamento T3 – Spirudrop + Zn, formulado a partir da microalga *S. platensis* + Zn (27.22% de acréscimo quando comparado a testemunha). Tem-se sugerido que a aplicação foliar de extrato de algas leva a um aumento eficiência da planta para produzir maior rendimento com menos água, em condições de estresse hídrico (SARY; EL-NWEHY; MOKHTAR, 2020). Os autores Dineshkumar et al., (2019) obtiveram incremento de produção na cultura do milho com aplicação de *S. platensis* via aplicação no solo.

De maneira geral, as plantas desenvolvem mecanismos para enfrentar condições ambientais adversas, às custas de diminuição do crescimento e rendimento. Esses mecanismos incluem o aumento da produção de metabólitos antioxidantes que auxiliam no controle de espécies reativas de oxigênio (ROS) para

evitar o estresse oxidativo e alterações nos níveis de fitohormônios (ZANDALINAS et al., 2017).

Os bioestimulantes à base de algas marinhas podem atuar no metabolismo central por vias envolvidas na fotossíntese, ativando o sistema de defesa e aumentando os níveis de eliminação de ROS. Controlam a abertura e fechamento de estômatos, impedindo a desidratação, além de atuar na regulação e expressão de genes que regulam fitohormônios. Ainda promovem a biossíntese de carboidratos, álcoois, açúcares e aminoácidos, conferindo as plantas um estado de prontidão para aliviar o estresse causado pela seca ou outros fatores (MA; FREITAS; DIAS, 2022).

Nota-se para o segundo ciclo que o T2, que contém nanopartículas de Si associados a extrato de algas e quitosana, foi o tratamento que obteve a maior média de produtividade de cana-de-açúcar, chegando a produzir 46,64 (60.57%) toneladas ha^{-1} a mais que T1 (Testemunha- sem aplicação) assim como a quantidade de açúcar que teve um incremento de 7,3 (62.04 %) ton ha^{-1} quando comparado com T1 - testemunha sem aplicação, diferindo estatisticamente deste.

O tratamento T4- Verogreen que é formulado a partir da microalga *Chlorella vulgaris* também proporcionou elevação significativa na produtividade quando comparado com T1 (Testemunha- sem aplicação), o incremento foi de 30,66 (42.78%). Previamente Refaay et al., (2021) também obtiveram maior rendimento em ton de cana ha^{-1} , altura da planta, pesos fresco e seco e número de folhas quando utilizou a microalga *Chlorella vulgaris*, combinada com fertilizante químico em *Phaseolus vulgaris*.

As maiores médias de produtividade de cana-de-açúcar nos Tratamentos T2 e T4 podem estar relacionadas ao maior desenvolvimento das plantas nas áreas que receberam estes tratamentos. Em T2 verificou-se a maior média de altura de plantas e em T4, a maior média de diâmetro de colmo. Estes rendimentos foram possíveis, apesar da tendência de redução de produtividade na cana soca pela compactação do solo devido ao pisoteio por máquinas e veículos durante o cultivo e colheita.

A compactação diminui a brotação e o crescimento do sistema radicular. Nas áreas tratadas, as maiores médias obtidas no segundo ciclo se assemelham as do primeiro (118,30 ton ha^{-1} segundo ciclo) e (120,72 ton ha^{-1} para o

primeiro ciclo) com uma diferença de 2,42 ton entre elas. Já para a testemunha, as diferenças são maiores, 71,66 para o segundo ciclo e 94,88 ton ha⁻¹ para o primeiro ciclo, com uma diferença de 23, 22 toneladas por hectare.

De acordo com Verma et al., (2020) o uso de silício pode estimular o crescimento das plantas e mitigar vários estresses, como salinidade, seca, calor, frio, associados a mudanças nas variáveis climáticas globais. Os autores Costa et al., (2022) concluíram que o silício é alternativa agrônômica no cultivo de cana-de-açúcar com restrições hídricas ou não, reduzindo as perdas biológicas, modificando o equilíbrio homeostático de C:N:P, melhorando o uso e eficiência desses nutrientes e o desenvolvimento das plantas. Entretanto, altas doses de silicato de cálcio podem reduzir a absorção de importantes micronutrientes como zinco, manganês e boro (TOMAZ et al., 2022).

Os resultados do segundo ciclo, principalmente, corroboram para essa conclusão e assemelham-se também a estudos prévios dos autores Jacomassi et al., (2022) no qual o uso de bioestimulante à base de extrato de algas marinhas na cana-de-açúcar atuou no aprimoramento de respostas fisiológicas, metabólicas e enzimáticas sob estresse hídrico. Assim verificou-se elevação da produtividade em decorrência da melhoria de parâmetros biométricos, como colmos mais grossos e a altos.

Particularmente para o tratamento T2 no segundo ciclo (cana-soca), verifica-se que a eventual combinação dos bioestimulantes pode ter contribuído para a obtenção dos efeitos observados. O estudo do uso combinado de diferentes bioestimulantes tem sido proposto como possibilidade de sinergia entre estes elementos (ROUPHAEL; COLLA, 2018).

Futuramente, existe a possibilidade de se estudar o efeito destes bioestimulantes em longo prazo, nos cortes sucessivos em cana-de-açúcar. Da mesma forma, o estudo controlado da mitigação de estresses em condições de campo e casa-de-vegetação, poderia, eventualmente, possibilitar melhorar a eficiência destas ferramentas no cultivo da cultura.

Verifica-se, pelos resultados obtidos, que os bioestimulantes podem ser ferramentas de grande importância no manejo da cultura da cana-de-açúcar. Se considerarmos toda a área plantada mundialmente com a cultura, verificamos que o incremento de produção seria vantajoso, sem necessidade de se aportar novas áreas de plantio, diminuindo pressão por desmatamento. Da mesma forma, o

balanço energético da cultura seria imediatamente favorecido, pela relação de energia produzida, compara à energia gasta na produção.

3.3.3 Desenvolvimento e Mortalidade de *D. sacharallis*

Os insetos que se alimentaram dos colmos provenientes de plantas dos diversos tratamentos, apresentaram ganho de peso similar. Para o parâmetro mortalidade, T10 Nutriscene formulado a base de microalgas *Scenedesmus dimorphus* provocou morte de 100% das larvas, porém os dados obtidos na avaliação não permite concluir eficácia no tratamento, fazendo-se necessários estudos adicionais. Diferentes métodos de condução do ensaio, como por exemplo, o plantio em vasos, uso de insetos mais adaptados, quantificação do ganho de peso em diferentes tempos de herbivoria, e análise de metabólitos nas plantas, são necessários para melhorar a qualidade dos resultados desta avaliação. Na **tabela 14**. Seguem as porcentagens de ganho de peso e as taxas de mortalidade dos insetos avaliados no intervalo de 15 dias.

Tabela 14. Ganho de peso e Mortalidade *Diatraea sacharallis* alimentadas com colmos tratados com Bioestimulantes

Tratamento	% ganho de peso	Mortalidade %
Trat. 01	237,24%	73,33% ab
Trat. 02	0,00%	86,67% ab
Trat. 03	123,07%	80,00% ab
Trat. 04	29,75%	86,67% ab
Trat. 05	8,19%	93,33% ab
Trat. 06	20,28%	93,33% ab
Trat. 07	135,94%	86,67% ab
Trat. 08	158,68%	56,67% b
Trat. 09	207,77%	63,33% ab
Trat. 10	0,00%	100,00% a
C.V.	181,95%	23,81%
P-valor	^{ns} 0,0996	0,0079

*ns-não significativo

*Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. CONCLUSÃO

O uso de bioestimulantes a base de microalgas e formulações comerciais contendo silício associado à algas marrons e quitosana, quando aplicados via foliar, aumentam significativamente a produtividade da cana-de-açúcar em ton ha^{-1} , assim como, a quantidade de açúcares totais por hectare. Esse incremento ocorreu no primeiro ciclo (cana planta) quanto no segundo ciclo de produção (cana soca), sendo maior no segundo ciclo.

REFERÊNCIAS

- ABISOLO. Anuario ABISOLO 2019. 2019.
- ABISOLO. ANUÁRIO ABISOLO. v. 1, 2022.
- ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 1–11, 2018.
- ALPINO, T. DE M. A. et al. The impacts of climate change on Food and Nutritional Security: a literature review. **Ciencia e Saude Coletiva**, v. 27, n. 1, p. 273–286, 2020.
- ALVAREZ, A. L. et al. Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. **Algal Research**, v. 54, n. December 2020, p. 102200, 2021.
- ÁLVAREZ, S. P. et al. Agriculture Applications of Entomopathogenic Fungi Using Nanotechnology. p. 35–53, 2017.
- ANDRADE, D. S. et al. **Microalgae: Cultivation, Biotechnological, Environmental, and Agricultural Applications**. [s.l: s.n.].
- ANVISA. **PROGRAMA DE ANÁLISE DE RESÍDUOS DE AGROTOXICOS EM ALIMENTOS - RELATÓRIO DAS AMOSTRAS ANALISADAS NO PERÍODO DE 2017-2018**. [s.l: s.n.].
- ARAHOU, F. et al. Spirulina-Based Biostimulants for Sustainable Agriculture: Yield Improvement and Market Trends. **Bioenergy Research**, n. 0123456789, 2022.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). Principais indicadores do setor de fertilizantes. **Estatísticas_ Indicadores**, p. 2021, 2015.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). Principais indicadores do setor de fertilizantes. **Estatísticas_ Indicadores**, p. 2021, 2022.
- BALTAZAR, M. et al. Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. **Biomolecules**, v. 11, n. 8, 2021.
- BARBIERI, V.; BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa. **Resumos**, 1993.
- BATTACHARYYA, D. et al. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 39–48, 2015.
- BELLOTE, A. F. J. et al. Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira. **Energia limpa e acessível**, p. 23–33, 2018.

- BHAGEA, R.; BHOYROO, V.; PUCHOOA, D. Microalgae: the next best alternative to fossil fuels after biomass. A review. **Microbiology Research**, v. 10, n. 1, 2019.
- BORBA, V. A.; FERREIRA CAMARGO, L. S. Biotecnologia e Aplicações. 2003.
- BRASIL, S. E. DE A. E. **PLANO NACIONAL DE FERTILIZANTES 2050 Uma Estratégia para os Fertilizantes no Brasil**. Brasília: [s.n.].
- BRUGNEROTTO, M. D. R. Bioestimulantes em Tomateiro: Efeitos em Parâmetros Agronômicos e indução de resistência. 2022.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, n. 1–2, p. 3–41, 2014.
- CARMODY, N. et al. Ascophyllum nodosum Extract Biostimulant Processing and Its Impact on Enhancing Heat Stress Tolerance During Tomato Fruit Set. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. June, 2020.
- CASTRO, J. P. DA S. et al. Alternativas sustentáveis ao uso intensivo de agrotóxicos na agricultura brasileira. **Revista Grifos**, v. 28, n. 47, p. 121, 2019.
- CATIANA, R.; JESUS, K. R. E. D. E. Nanotecnologia Na Agricultura: Prospecção Dos Indicadores De Impactos Ambientais E Sociais. v. 55, n. 19, p. 1–9, 2012.
- CHANDRA MOHANA, N. et al. **Nanoparticle applications in sustainable agriculture, poultry, and food: Trends and perspective**. [s.l.] INC, 2020.
- CHIAIESE, P. et al. Renewable sources of plant biostimulation: Microalgae as a sustainable means to improve crop performance. **Frontiers in Plant Science**, v. 871, n. December, p. 1–6, 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira - CANA-DE-AÇUCAR. **Observatório Agrícola**, v. 2, n. 4, p. 1–60, 2021.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira - CANA-DE-AÇÚCAR. **Observatório Agrícola**, v. 2, n. 4, p. 1–60, 2022.
- COPPENS, J. et al. The use of microalgae as a high-value organic slow-release fertilizer results in tomatoes with increased carotenoid and sugar levels. 2015.
- COSTA, M. G. et al. Impact of Si on C, N, and P stoichiometric homeostasis favors nutrition and stem dry mass accumulation in sugarcane cultivated in tropical soils with different water regimes. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. July, p. 1–19, 2022.
- CTC- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Pragas e doenças CTC**. [s.l: s.n.].

Disponível em:
<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pessegueo/arvore/CONTAG01_22_1972007162810.html>.

DA SILVA, J. G. Bioestimulantes in the Agriculture. **Modern Concepts & Developments in Agronomy**, v. 7, n. 1, p. 690–691, 2020.

DE AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Diversity and benefits of microorganisms from the tropics. **Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics**, p. 1–439, 2017.

DE CAMARGO, M. S. et al. Absorção de silício, produtividade e incidência de diatraea saccharalis em cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 937–944, 2010.

DE, P. Possibilidades de uso do clorofiLOG. p. 1–7, 2009.

DINESHKUMAR, R. et al. The Impact of Using Microalgae as Biofertilizer in Maize (Zea mays L.). **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 5, p. 1101–1110, 1 maio 2019.

DOMINGUES, I. DE A. S. Variabilidade climática e sua influência na produtividade da cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp) na região norte e noroeste do Paraná. **Tese de Doutorado**, p. 235, 2010.

DOORENBOS, J. et al. **YieldResponsetowater-original1979.pdf. Irrigation and Agricultural Development**, 1980.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015.

DUAN, H.; WANG, D.; LI, Y. Chem Soc Rev Green chemistry for nanoparticle synthesis. **Chemical Society Reviews**, 2015.

EL BOUKHARI, M. E. M. et al. **Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants : Manufacturing Process and. Plants**, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2021. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2021**, p. 1–67, 2022.

FARID, R. et al. Effect of Microalgae Polysaccharides on Biochemical and Metabolomics Pathways Related to Plant Defense in Solanum lycopersicum Content courtesy of Springer Nature , terms of use apply . Rights reserved . Content courtesy of Springer Nature , terms of use . p. 225–240, 2019.

GOKAVI, N. et al. Diatomaceous Earth as a Source of Silicon and its Impact on Soil

- Physical and Chemical Properties , Yield and Quality , Pests and Disease Incidence of Arabica Coffee cv . Chandragiri. p. 4583–4600, 2021.
- GOLUBKINA, N. et al. Microalgae in agricultural crop production. **Italus Hortus**, v. 29, n. 1, p. 94–114, 2022.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, B. K. et al. Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 38, n. 1, p. 1–12, 2022.
- JACOMASSI, L. M. et al. A Seaweed Extract-Based Biostimulant Mitigates Drought Stress in Sugarcane. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. April, 2022.
- JENKS, M. A.; HASEGAWA, P. M. **Plant Abiotic Stress**. [s.l: s.n.].
- LIMA, Y. C.; BONILLA, O. H.; LUCENA, E. M. P. DE. Uso da quitosana na agricultura: uma revisão com ênfase na aplicação em sementes. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e39911225782, 29 jan. 2022.
- LOBO, WYVIRLANY VALENTE & RAMOS, R. M. M. Agrotoxics Chemistry and its impact on the environment. **Quimica Nova**, 2018.
- LOPES, K. et al. A Potencialidade Energética da Biomassa no Brasil The Energy Potential of Biomass in Brazil. v. 1, p. 94–106, 2019.
- MA, Y.; FREITAS, H.; DIAS, M. C. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. December, p. 1–15, 2022.
- MACEDO, N.; MACEDO, D. As pragas de maior incidência nos canaviais e seus controles. **Visão Agrícola**, v. 1, n. 1, p. 38–46, 2004.
- MARAFON, A. C. Et al. Uso da Biomassa para a Geração de Energia. 2016.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. et al. Relatório Consolidado de Produtos Formulados Relatório Consolidado de Produtos Formulados. p. 1–304, 2023.
- MORAES, R. F. DE. Agrotóxicos no brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. 2019.
- NABTI, E.; JHA, B.; HARTMANN, A. Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 5, p. 1119–1134, 2017.
- NECHET, K. DE L.; RAMOS, N. P.; VIEIRA, B. DE A. H. Identificação de doenças fúngicas foliares emergentes em cana-de_açúcar. **Embrapa Meio Ambiente- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, p. 1–5, 2016.
- OGINO, C. M. F.; RIBEIRO, J. E. Preços de fertilizantes impactando a produção

agrícola brasileira. 2021.

RASTOGI, A. et al. Application of silicon nanoparticles in agriculture. **3 Biotech**, v. 9, n. 3, p. 1–11, 2019.

REFAAY, D. A. et al. Effect of foliar application with *Chlorella vulgaris*, *Tetradesmus dimorphus*, and *Arthrospira platensis* as biostimulants for common bean. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 6, p. 3807–3815, 2021.

REPKE, R. A.; SILVA, MARCELO DE ALMEIDA; SILVA, DAYANE MÉRCIA RIBEIRO; SANTOS, J. C. C. DOS. *Ascophyllum nodosum* algae-based biostimulant mitigates heat stress in soybean. p. 1–24, 2022.

ROLIM, A. E. H. et al. Chitosan scaffolds - Physico - Chemical and biological properties for bone repair. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 2, p. 211–228, 2018.

RONGA, D. et al. **Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions**. **AgronomyMDPI AG**, , 15 abr. 2019.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 871, n. November, p. 1–7, 2018.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. February, p. 1–7, 2020.

RU, I. T. K. et al. *Chlorella vulgaris*: a perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. **Applied Phycology**, v. 1, n. 1, p. 2–11, 2020.

SACCOMORI, N. L. Bioestimulantes À Base De Extrato De Algas Marinhas Na Agricultura: Estado Da Arte E Potencial De Uso. p. 1–105, 2021.

SACHS, R. C. C. Remuneração da tonelada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 37, n. 2, p. 55–66, 2007.

SÁNCHEZ, M. et al. *Spirulina (arthrospira)*: an edible microorganism: a review. **Universitas Scientiarum**, v. 8, n. 1, p. 7–24, 2003.

SANTINI, G. et al. Plant biostimulants from cyanobacteria: An emerging strategy to improve yields and sustainability in agriculture. **Plants**, v. 10, n. 4, 2021.

SANTOS, L. C. DOS et al. O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e3810716247, 12 jun. 2021.

SARKAR, G. et al. Combination of different marine algal extracts as biostimulant and biofungicide. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 9, p. 1163–1171, 2018.

SARY, D. H.; EL-NWEHY, S. S.; MOKHTAR, A. M. A. Effect of algae extract foliar

application on yield and quality traits of soybean (*Glycine Max L.*) grown on calcareous soil under irrigation water regime. **Plant Archives**, v. 20, n. 1, p. 2417–2430, 2020.

SHAHRAJABIAN, M. H. et al. Sustainable agriculture systems in vegetable production using chitin and chitosan as plant biostimulants. **Biomolecules**, v. 11, n. 6, p. 1–18, 2021.

SHARMA, H. S. S. et al. Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. **Journal of Applied Phycology**, v. 26, n. 1, p. 465–490, 2014.

SILVA, J. P. N. DA; SILVA, M. R. N. DA. Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar. **Rede e-Tec Brasil**, p. 21–30, 2012.

SOLIS, M. A.; METZ, M. A. An illustrated guide to the identification of the known species of diatraea guilding (Lepidoptera, Crambidae, Crambinae) based on genitalia. **ZooKeys**, v. 2016, n. 565, p. 73–121, 2016.

SUGANYA, T. et al. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 909–941, 2016.

TARRAF, S. A. et al. Influence of foliar application of algae extract and amino acids mixture on fenugreek plants in sandy and clay soils. v. 7, n. 1, p. 33–37, 2015.

TOMAZ, A. C. et al. Genetic and silicon-induced resistance of sugarcane to *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) and silicon effect on nutrient accumulation. **Phytoparasitica**, v. 50, n. 2, p. 443–452, 2022.

UNITED NATIONS. World Population Prospects 2019: Methodology of the United Nations population estimates and projections. **Department of Economic and Social Affairs, Population Division**, p. 61, 2019.

UNITED NATIONS. **United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.** [s.l: s.n.].

VERMA, K. K. et al. Mitigating Climate Change for Sugarcane Improvement: Role of Silicon in Alleviating Abiotic Stresses. **Sugar Tech**, v. 22, n. 5, p. 741–749, 2020.

VIEIRA, G.E.G; NUNES, A.P; TEIXEIRA, L. F; COLEN, A. G. . Biomassa: uma visão dos processos de pirólise. **Revista Liberato**, v. 15, n. n.24, p. 105–212, 2014.

WEBER, N. et al. First fruit in season: seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria×ananassa Duch.*) fruit formation and yield. **Scientia**

Horticulturae, v. 242, n. February, p. 103–109, 2018.

YAKHIN, O. I. et al. Biostimulants in plant science: A global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. January, 2017.

YE, M. et al. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 38, 2013.

ZANDALINAS, S. I. et al. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures - Zandalinas - 2017 - *Physiologia Plantarum* - Wiley Online Library. **Physiologia Plantarum**, n. 15, p. 2–15, 2017.

ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Fertilizantes minerais , orgânicos e organominerais. p. 263–303, 2021.