UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANTONIO MALVESTITTI NETO

**Reguladores de crescimento e adubação orgânica no estresse
hídrico da cana-planta**

Pirassununga

2018

ANTONIO MALVESTITTI NETO

**Reguladores de crescimento e adubação orgânica no estresse
hídrico da cana-planta**

“Versão Corrigida”

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências do programa de pós-graduação em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz

Pirassununga

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Malvestitti Neto, Antonio

MM262r Reguladores de crescimento e adubação orgânica no estresse
hídrico da cana-planta / Antonio Malvestitti Neto ; orientador Pedro
Henrique de Cerqueira Luz. -- Pirassununga, 2018.
70 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Biorregulador. 2. Cana-de-açúcar. 3. Ácidos húmicos. I.
Cerqueira Luz, Pedro Henrique, orient. II. Título.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - o autor

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais que me deram discernimento para escolher meu caminho e sempre incentivaram os estudos.

Aos amigos e familiares pelo companheirismo e incentivo.

A todos os profissionais da área da educação em especial aos que fizeram parte de minha vida.

Aos trabalhadores e produtores rurais, que lutam todos os dias no campo para alimentar o mundo.

Dedico à comunidade científica e ao progresso da nação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me conceder saúde e vitalidade para percorrer esta caminhada.

Ao professor Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz, por aceitar me orientar, por sua amizade pelos ensinamentos e experiências transmitidas durante as disciplinas e nos encontros para tratar dos projetos e da dissertação.

A Nathalia Lavoura por estar sempre ao meu lado e incentivar e apoiar os dias de estudos.

Aos amigos Luís Miguel de Paula, Tiago Bonati, Hoton Peliteiro, Gabriela Pavani, Gustavo Diniz e meu primo Felipe Malvestiti Rodrigues, pelo apoio nas avaliações e amizade.

Ao Professor Ms. Thiago Cardoso de Oliveira, por motivar o meu ingresso na pós-graduação, sua amizade e estar sempre presente me apoiando nos momentos mais difíceis.

Aos colegas e amigos das Agrárias Jéssica, Gabi, César, Liliane, Gleber, Murilo, Marisa, Bruna, Paula e Tonetti, pelos conselhos, ajudas e incentivos.

Ao Paulo Márcio, pela convivência, parceria e amizade durante todo o mestrado, obrigado por me acompanhar nessa etapa de minha vida.

Aos Funcionários e estagiários do Laboratório de Solos, Marcos, Suele, Tales e David, pelos ensinamentos e pela dedicação quando solicitados.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos por tonar possível a realização do mestrado e aos funcionários pelos serviços prestados.

Aos Professores Drs. Felipe Barros Macedo, Valdo Rodrigues Herling, Lilian Elgalise, Junior César, Saulo da Luz, Raul Franzolin, Paulo Sérgio Pavinato, pelos conhecimentos e experiências passados durante as disciplinas.

A Capes pela bolsa de estudos.

À Usina São João, por ceder a área para o experimento, disponibilizar colaboradores e máquinas para nos auxiliar.

À empresa Stoller® pelo apoio no projeto.

A todos Familiares e amigos que me apoiaram.

*“Escolhe um trabalho de que gostes, e não
terás que trabalhar nem um dia na tua vida”*

(Confúcio)

RESUMO

MALVESTITTI NETO, A. **Reguladores de crescimento e adubação orgânica no estresse hídrico da cana-planta**. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

No presente trabalho, objetivou-se estudar o uso de biorregulador sintético, cama de frango e torta de filtro no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em situação de estresse hídrico. O experimento foi implantado e conduzido no município de Analândia/SP. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 9 tratamentos, distribuídos aleatoriamente em 5 Repetições, totalizando 45 parcelas. O biorregulador utilizado é constituído de três grupos químicos de hormônios sintéticos: auxina (0,005%), giberilina (0,005%) e cinetina (0,009%), e os tratamentos foram: 1 controle sem biorregulador, 2 biorregulador no plantio, 3 biorregulador no rebaixamento da entrelinha, 4 biorregulador no crescimento final, 5 biorregulador no plantio e crescimento final, 6 biorregulador no plantio e rebaixamento da entrelinha, 7 biorregulador no rebaixamento da entrelinha e crescimento final, 8 torta de filtro sem biorregulador, 9 cama de frango sem aplicação biorregulador. O tratamento Stimulate aplicado no sulco de plantio, apresentou a maior produtividade, com 129,93 t ha⁻¹. Os tratamentos cama de frango e torta de filtro não se diferenciaram dos demais em produtividade. A aplicação de Stimulate e compostos orgânicos não interferiram nos parâmetros tecnológicos. A utilização do regulador de crescimento mostrou-se eficiente.

Palavras-chave: Biorregulador, Cana-de-açúcar, Ácidos húmicos.

ABSTRACT

MALVESTITTI NETO, A. **Growth regulators and organic fertilization in the water stress of sugarcane**. 2018. 70 f. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

In the present work, the objective was to study the use of synthetic biorregador, litter of chicken and filter cake in the development and productivity of sugarcane in a situation of water stress. The experiment was implemented and conducted in the city of Analândia / SP. The experimental design was used for the use of blocks, with 9 treatments, distributed in 5 replications, totaling 45 plots. The bioregulator used consisted of three chemical groups of synthetic hormones: auxin (0.005%), giberilin (0.005%) and kinetin (0.009%), and treatments were: 1 control without bioregulator, 2 bioregulator at planting, 3 bioregulator lowering of the interweave, 4 bioregulator in the final growth, 5 bioregulator in the planting and final growth, 6 bioregulator in the planting and lowering of the interweave, 7 bioregulator in the lowering of the interweave and final growth, 8 filter cake without bioregulator, 9 chicken bed without bioregulator application. The Stimulate treatment applied in the planting groove, presented higher productivity, with 129.93 t ha⁻¹. The chicken bed and filter cake treatments did not differ from the others in productivity. The application of Stimulate and compound vegetables interfered in the technological parameters. The use of growth regulator was efficient.

Key words: Bioregulator, Sugarcane, Humic acids.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. HIPÓTESES	12
3. OBJETIVO.....	12
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
4.1. O atual cenário econômico da cana-de-açúcar no Brasil.....	13
4.2. Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar	13
4.3. Hormônios vegetais e os biorreguladores	16
4.3.1 Auxinas.....	19
4.3.2 Giberelinas.....	20
4.3.3 Citocininas	21
4.4. Uso de biorreguladores em cana-de-açúcar	22
4.5. As substâncias húmicas e sua ação bioestimulante.....	24
4.6. O estresse em plantas	29
5. MATERIAL E MÉTODOS	31
5.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta.....	31
5.2. Delineamento experimental e tratamentos	32
5.3. Instalação e desenvolvimento do experimento.....	34
5.4. Avaliações.....	38
5.4.1. Número de perfilhos.....	39
5.4.2. Altura de plantas.....	39
5.4.3. Produtividade	40
5.4.4. Análises tecnológicas	40
5.5. Balanço hídrico climatológico	40
5.6. Análise estatística.....	40
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1. Balanço hídrico e climatológico	41
6.2. Variáveis biométricas	45
6.3. Produtividade agrícola e industrial	48
6.4. Teor de nutrientes.....	54
7. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
APÊNDICES.....	66

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma *Poaceae*, de clima tropical, de rota fotossintética C4, altamente eficiente na fixação de carbono e no uso do nitrogênio (MALAVOLTA, 2006; HAWKESFORD et al., 2012).

A expansão das áreas de cultivo das usinas e fornecedores e concomitantemente a otimização da utilização de equipamentos e mão de obra fizeram com que o plantio da cana-de-açúcar se estende cada vez mais durante o ano, e pode-se dizer que é realizado praticamente o ano todo até mesmo nos meses com baixas temperaturas e déficit hídrico.

Os ambientes de produção da cultura são muito variáveis desde solos estruturados com alto teor de matéria orgânica e argila até solos nutricionalmente pobres, arenosos e com baixa capacidade de retenção de água. A somatória de condições adversas pode ocasionar um fator estressante ao seu desenvolvimento e afetar sua produtividade.

O crescimento e o desenvolvimento são regulados tanto por fatores endógenos como por fatores externos. Dentre os fatores externos que modulam o crescimento de plantas C4, observa-se a influência da luminosidade, da temperatura, da disponibilidade hídrica e nutricional, muitas vezes induzindo eventos endógenos, a nível molecular, metabólico, bioquímico e fisiológico, sinalizados por meio dos hormônios vegetais.

Os hormônios vegetais são compostos orgânicos, não nutrientes, produzidos pela planta, os quais em baixas concentrações (10^{-4} M) promovem ou inibem processos fisiológicos e morfológicos do vegetal (TAIZ et al., 2017), sendo oito grupos de substâncias consideradas hormônios vegetais: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico, brassinoesteróides, jasmonatos e salicilatos.

Essas biomoléculas são responsáveis por uma infinidade de processos nas plantas, desde a divisão celular até alongamento do caule, floração, frutificação.

Os hormônios são responsáveis pela sinalização química nos vegetais, carregando informações e modificando o estado fisiológico das células e dos tecidos, controlando o metabolismo, o crescimento e a morfogênese de plantas superiores, sendo que uma mesma substância pode produzir respostas diferentes, em diferentes fases do desenvolvimento da planta (RAVEN et al., 2001; TAIZ et al.,

2017). Compreender esse processo de sinalização tornou-se importante para o manejo das culturas agrícolas.

Estádios de desenvolvimento ecofisiológicos, como germinação, o crescimento vegetativo, o florescimento, a frutificação e a maturação são afetados por diversos fatores, inclusive pela ação dos hormônios vegetais, que desempenham um importante papel na modulação dos componentes da produtividade.

Conhecer os locais de biossíntese, as vias de transporte, a estrutura química, o mecanismo de ação e os efeitos fisiológicos destas substâncias tornou-se importante para alterar as respostas das plantas, através da manipulação ou aplicação exógena. Devido ao fato do hormônio vegetal ser dependente do estágio de desenvolvimento e da atividade da planta, do ambiente e do tempo de duração do estímulo, a resposta da planta, seja ela sinérgica ou antagônica, pode sofrer grande variação.

A regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas e a minimização dos efeitos deletérios dos estresses ambientais durante o ciclo de cultivo são fatores importantes que determinam a produtividade das plantas cultivadas. Embora seja reconhecido que os estresses biótico e abiótico impedem que as plantas atinjam todo seu potencial de produção, a compreensão atual dos mecanismos envolvidos e as estratégias para mitigar esses efeitos são limitadas.

O estresse pode ser definido como qualquer condição ambiental que impede a planta de alcançar seu potencial genético pleno, podendo ser compensado pela otimização das condições de crescimento das plantas, pela provisão de água, nutrientes, reguladores do crescimento e bioestimulantes.

Substâncias bioestimulantes estão sendo cada vez mais utilizadas nos sistemas de produção, tendo como objetivo modificar os processos fisiológicos nas plantas para otimizar a produtividade. Os bioestimulantes de plantas baseados em materiais naturais receberam atenção considerável, tanto pela comunidade científica, como pelas empresas comerciais, especialmente nas últimas duas décadas (KHAN et al., 2009; BROWN; SAA, 2015; YAKHIN et al., 2016).

O uso de reguladores de crescimento e bioestimulantes confere um potencial inovador para a regulação e modificação de processos fisiológicos em plantas, visando estimular o crescimento, minimizar as limitações induzidas pelo estresse e aumentar a produtividade.

2. HIPÓTESES

A aplicação de bioestimulante minimiza os efeitos causados pelo estresse hídrico em plantio de inverno de cana-de-açúcar.

Compostos orgânicos aplicados em sulco de plantio reduzem os efeitos do estresse hídrico.

Duas aplicações de bioestimulante na dose de 0,5 l/ha é mais eficiente que a aplicação única na dose de 0,5 l/ha.

3. OBJETIVO

No presente trabalho objetivou-se estudar o efeito de bioestimulante sintético e compostos orgânicos (cama de frango e torta de filtro) sobre a produtividade e os parâmetros biométricos e tecnológicos da cana-de-açúcar em situação de estresse hídrico.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. O atual cenário econômico da cana-de-açúcar no Brasil

O setor sucroenergético encontra-se recuperando de uma longa crise, que culminou na falência de várias usinas e grupos, no sucateamento de parte do parque industrial, redução da renovação dos canaviais, na estagnação da capacidade de moagem. Porém, mesmo com todas as dificuldades relatadas, o setor também passa por uma fase de transformação, consolidando-se como produtor de bioenergia (OLIVEIRA, 2016).

Dentro do valor da produção agrícola no Brasil, a cana-de-açúcar é a segunda maior cultura, gerando um valor estimado em R\$ 71,8 bilhões em 2017, atrás somente da soja, com R\$ 115,9 bilhões (MAPA, 2017). Sua produção na safra 2016/2017 foi de 651,8 milhões de toneladas, sendo 38,7 milhões de toneladas de açúcar e 27 milhões de m³ de etanol, numa área plantada de 10,87 milhões de hectares, com uma produtividade média de 59,9 toneladas por hectare (UNICA, 2017).

Analisando-se a produtividade média, comparando-a com a produtividade potencial de produção da cultura, relatada por Landell et al. (2005) sendo de aproximadamente 350 t ha⁻¹ de colmos num período de 360 dias, conclui-se que a mesma encontra-se muito baixa, correspondendo a 17,13% da produtividade potencial. Isto ocorre pois existem fatores abióticos e bióticos interagindo como “gargalos” de restrição.

Logo, observa-se que o setor vem lidando com o desafio de aumentar a produtividade dos canaviais e, por consequência, aumentando também a produção de açúcar, álcool e eletricidade. Com maiores produtividades, obtêm-se maiores receitas e diluição dos custos. Para isso, torna-se necessário a utilização de novas tecnologias, aprimorando as técnicas de manejo, do plantio a colheita, garantindo a sustentabilidade nos canaviais, visando alcançar produtividades superiores a 100 toneladas de colmo por hectare.

4.2. Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

De acordo com Nogueira et al. (2006) o processo de crescimento de uma planta caracteriza-se pelo aumento irreversível de tamanho e peso e tem caráter quantitativo. O crescimento contrapõe-se ao desenvolvimento, um termo mais

abrangente e envolve todas as mudanças qualitativas e quantitativas ocorridas na planta durante o seu ciclo.

Segundo Marafon (2012) o desenvolvimento da planta é um processo complexo, que envolve fatores externos e internos, mecanismos de crescimento e diferenciação celular, sendo quantitativo quando se refere a um aumento em tamanho e massa e qualitativo quanto trata de modificações morfológicas e fisiológicas na forma e posição de várias partes da planta durante seu ciclo.

Conforme descrito por Teruel et al. (1997), o conhecimento da variação dos estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar durante o seu ciclo é fundamental para que se possa modelar e quantificar o crescimento das plantas nos seus diferentes estádios de desenvolvimento.

Os estádios de desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar podem ser observados na figura 1. Eles são divididos em quatro fases, sendo essas a (i) brotação e estabelecimento, com crescimento lento e dependente da umidade do solo, levando de 20 a 30 dias para a ocorrência da brotação; o (ii) perfilhamento, iniciando-se 40 dias após o plantio e durando até 120 dias; o (iii) crescimento dos colmos, que vai dos 120 dias após o plantio (ou corte) até os 270 dias, em cultivos de 12 meses, sendo o estágio mais importante do cultivo, pois é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total e a (iv) maturação dos colmos, com reduções nas taxas de crescimento da planta e aumento no acúmulo de sacarose nos colmos, tendo início de 270 a 360 dias após o plantio e podendo se seguir por até 6 meses (CAMARA, 1993; DIOLA, SANTOS, 2010, OLIVEIRA, 2016).

Figura 1 - Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, nos ciclos da cana-de-ano (12 meses) e cana-de-ano-e-meio (18 meses). Fonte: Coletti, 1987.

Machado (1987) cita que o número máximo de perfilhos e o número máximo de colmos que atingem a maturidade são influenciados por diversos fatores, entre eles a variedade, a radiação solar, a temperatura, a umidade, os nutrientes e densidade de plantio. O padrão de perfilhamento pode ser dividido em três fases: uma primeira fase inicial, em que o perfilhamento é intenso e atinge um número máximo ao redor de três a cinco meses após o plantio; uma segunda fase intermediária onde há morte acentuada dos perfilhos, principalmente aqueles menos desenvolvidos; e uma terceira fase final onde o número de perfilhos permanece estável sobrevivendo até a colheita.

Esse padrão de perfilhamento parece ser característico para diversas variedades e independente das condições hídricas (MACHADO, 1987). A mortalidade dos colmos coincide com o período em que a área foliar aumenta rapidamente sugerindo que, além da competição por água e nutrientes, o sombreamento é um dos fatores mais importantes na determinação deste comportamento (DILLEWJIN, 1952; MACHADO et al, 1982).

Devido a uma diversidade de fatores que podem comprometer o perfilhamento e a população final de colmos, que resulta numa perda de produtividade, o fornecimento de tecnologias que permitam um aumento de vigor das plantas e um rápido estabelecimento da parte aérea e sistema radicular torna-se uma importante ferramenta para a formação do canavial.

4.3. Hormônios vegetais e os biorreguladores

Por definição, os hormônios vegetais são substâncias orgânicas endógenas produzidas pelas plantas, em um determinado tecido e que será transportada para atuar em outro tecido, gerando respostas fisiológicas específicas. Sua presença, em baixas concentrações, nos tecidos vegetais induzem, inibem ou modificam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Os hormônios vegetais são divididos em auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico e brassinoesteroides (TAIZ et al., 2017). Os hormônios vegetais são compostos orgânicos, não nutrientes, de ocorrência natural, produzidos nas plantas em baixas concentrações (10^{-4} M), que promovem, inibem ou modificam processos metabólicos, bioquímicos, fisiológicos e morfológicos dos vegetais.

Os biorreguladores são substâncias sintéticas ou orgânicas, não nutrientes, que quando aplicadas em baixas concentrações nas plantas causam alterações em seus processos fisiológicos e morfológicos (CASTRO, 2006), cujos efeitos são similares aos hormônios vegetais conhecidos (auxinas, citocininas, giberelinas), e que desempenham importante papel podendo serem utilizados para uniformizar a germinação, estimular o desenvolvimento radicular e o perfilhamento, melhorar o enchimento de grãos e antecipar ou atrasar a maturação como esquematizado na figura 2 (VIEIRA; CASTRO, 2004). Estas substâncias demonstram-se eficientes quando aplicadas em pequenas doses, estimulando o bom desempenho dos processos metabólicos, bioquímicos e fisiológicos da planta, resultando na obtenção de maiores produtividades e com mais qualidade, mesmo sob condições ambientais adversas.

Os produtos a base de biorreguladores podem ser constituídos de um ou mais compostos hormonais, com ação fisiológica conhecida e definida, permitindo uma recomendação com objetivo específico de regular ou modular um determinado processo (CASTRO, 2006). Para se alcançar a resposta esperada com o uso de biorreguladores específicos, torna-se importante conhecer e compreender os processos regulado pelo hormônio ou grupo de hormônios em questão, a dose necessária para modular o processo, bem como o órgão da planta onde ocorrerá as reações.

Figura 2 - Funções dos hormônios vegetais no crescimento vegetativo (A) e no crescimento reprodutivo e na senescência (B). Legenda: AX = auxina, CK = citocinina, GA = giberelina, BR = brassinosteróide, ABA = ácido abscísico, ET = etileno, JA = ácido jasmônico. Fonte: Rodrigues, 2008.

Os biorreguladores vegetais promovem, inibem ou modificam processos fisiológicos e morfológicos do vegetal, agindo em conjunto nos processos de germinação, de crescimento, no desenvolvimento e na produtividade da planta, resultando no equilíbrio necessário para que as atividades fisiológicas ocorram de maneira harmônica (DAVIES, 2004; MACEDO; CASTRO, 2015).

Segundo Macedo e Castro (2015), os efeitos dos reguladores vegetais são dependentes da espécie vegetal, do órgão da planta, do estágio de desenvolvimento fenológico, da concentração, da interação com outros compostos e dos estímulos ambientais. Castro et al. (2002) ressaltam que o mecanismo de ação dos reguladores vegetais (figura 3) está associada à interação molecular direta e específica, que promove uma sucessão de eventos bioquímicos e fisiológicos resultantes em respostas mensuráveis. Em seu processo de atuação, os hormônios ligam-se a receptores proteicos específicos, formando um complexo hormônio-receptor, liberando um mensageiro secundário que migra até o núcleo e provoca expressão gênica. Essa expressão gênica ocorre com a formação do RNA mensageiro, a partir do DNA, sintetizando enzimas que atuam no desenvolvimento celular (RODRIGUES, 2008).

Figura 3 - Mecanismos de ação dos hormônios e reguladores de crescimento na planta. Fonte: Rodrigues, 2008.

Segundo Castro et al. (2009), o estudo da aplicação de reguladores vegetais busca atingir o domínio dos processos fisiológicos das plantas, e de certo modo, sua ação tem mostrado interessantes resultados, tanto pela diversidade de respostas obtidas em plantas semelhantes ao uso de um mesmo produto, como pela modificação de conceitos em determinadas técnicas consideradas tradicionalmente imutáveis. Castro et al. (2009) também relatam que com a descoberta dos efeitos dos biorreguladores sobre as plantas cultivadas e os benefícios promovidos por estas substâncias, bem como o uso combinado com fertilizantes e outros, têm sido pesquisados com o objetivo de melhorar de maneira qualitativa e quantitativa a produtividade das culturas.

De acordo com Macedo e Castro (2015) atualmente, o uso comercial desses compostos já constitui realidade para muitas culturas, tais como a soja, milho, uva, laranja, feijão, manga, sendo que a aplicação de biorreguladores e bioestimulantes vegetais com o intuito de maximizar os padrões de produtividade tem apresentado resultados significativos, principalmente em regiões onde essas culturas já atingiram um nível elevado de tecnologia e manejo. Os mesmos autores sugerem a palavra biorreguladores como sinônimos de reguladores vegetais e citam o produto

comercial Stimulate® como um bioestimulante fabricado pela Stoller do Brasil, constituído de 50 mg L⁻¹ de giberelina (GA), 50 mg L⁻¹ de ácido indolbutírico (IBA) e 90 mg L⁻¹ de cinetina (CK).

4.3.1 Auxinas

As auxinas constituem um grupo de hormônios vegetais produzidos principalmente em regiões apicais, tais como folhas jovens, frutos, flores, extremidades do caule e embriões. Quando transportadas para outros locais da planta participam de seu crescimento e diferenciação. A auxina produzida nas plantas corresponde ao ácido indolacético (AIA) (TAIZ et al., 2017).

A ação da auxina nas plantas resulta no alongamento celular pelo aumento da elasticidade da parede celular e a pressão de turgor positiva (CASTRO et al., 1975). As principais funções deste hormônio vegetal são promover o crescimento do caule, raízes e folhas, bem como a iniciação da atividade cambial de plantas lenhosas (TAIZ et al., 2017).

A auxina promove a dominância apical, uma vez que sua contínua síntese na região apical regula a produção de enzimas específicas que degradam polissacarídeos da parede celular. Tal degradação resulta na formação de oligossacarídeos que inibem o desenvolvimento das gemas laterais, como exemplo nos colmos da cana-de-açúcar. A auxina é sintetizada principalmente na gema apical e redistribuída de modo polar para a raiz. Esse transporte ocorre preferencialmente nas células do parênquima associadas ao tecido vascular (TAIZ et al., 2017).

A auxina foi o primeiro hormônio vegetal descoberto, sendo um dos agentes químicos sinalizadores que regulam o desenvolvimento vegetal. Rodrigues e Leite (2004) relatam que a principal auxina em plantas superiores é o ácido indolil-3-acético (AIA), embora existam várias auxinas que ocorrem naturalmente, tais como o ácido fenilacético (PAA), o ácido indol -3-butírico (IBA) e o ácido 4-cloroindolil-3-acético (4-Cl-IAA) e como sintéticas o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e o ácido 2-metóxi-3,6-diclobenzóico (dicamba) (RODRIGUES; LEITE, 2004; TAIZ et al., 2017).

As auxinas sintéticas são bastante eficientes, pois não são metabolizadas pelas plantas tão rapidamente quanto o AIA; um grande número de auxinas

sintéticas já foi produzido, como as substâncias indólicas, os derivados dos ácidos fenoxiacéticos e ácido benzóico e os tricarbamatos (TAIZ et al., 2017), tais como o ácido naftalenoacético (ANA), o ácido 2,4-diclofenóxiacético (2,4-D) e o ácido indolilbutírico (IBA) (CASTRO; VIEIRA, 2001).

Davies (2004) relata que a concentração de auxina na planta não é uniforme e diminui ao longo do caule, sendo observada sua concentração em ordem decrescente no ápice caulinar, nas gemas de crescimento, nas sementes em formação, nas folhas novas, nas folhas maduras, nos grãos de pólen e no câmbio vascular. A auxina na planta diminui com a idade, época do ano e atividade metabólica, sendo que a presença de microrganismos também pode estar associada à aumento na síntese de auxina.

4.3.2 Giberelinas

As giberelinas foram caracterizadas na década de 1950, as quais constituem um grande grupo de compostos relacionados, sendo conhecidos mais de 125, que, ao contrário das auxinas, são definidos mais por sua estrutura química do que por sua atividade biológica. Estão relacionadas com a síntese de RNA mensageiro diretamente do DNA do núcleo podendo exercer controle na elongação celular e outras atividades de crescimento e desenvolvimento de plantas (TAIZ et al., 2017). Esses hormônios vegetais são sintetizados nas folhas jovens das plantas e são denominados de ácido giberélico. Têm como função o alongamento de caules intactos, não atuando em pontos de crescimento como as auxinas.

TAIZ et al (2017) relatam ainda que as giberelinas são compostos terpênicos, formados de unidades isoprênicas. Apenas certas giberelinas, em particular GA1 e GA4, são responsáveis pelos efeitos nas plantas; as demais são precursoras ou metabólitos. Esses hormônios estimulam a divisão celulares, observando-se aumento considerável de mitoses na região subapical do meristema de plantas, sob dias longos.

As giberelinas atuam ativamente na germinação das sementes por induzirem, via ação gênica, a síntese de enzimas que promovem a quebra e a mobilização de substâncias de reserva no endosperma das sementes. Aparecem também no alongamento do caule, no desenvolvimento reprodutivo, além de afetar a

transição do estado juvenil para o maduro, bem como a indução da floração, a determinação do sexo e o estabelecimento do fruto (TAIZ et al., 2017).

Os principais usos das giberelinas aplicadas por aspersão ou imersão, incluem o controle do cultivo de frutas, a maltagem da cevada e o aumento da produção de açúcar em cana-de-açúcar. De acordo com TAIZ et al (2017), em algumas plantas cultivadas a redução na altura é desejável, o que pode ser obtido pelo uso de inibidores da síntese de giberelinas.

Embora seja mais conhecida sobre sua ação no alongamento, as giberelinas também afetam os processos reprodutivos de uma ampla variedade de plantas. Para plantas que necessitam de dias longos para floração ou um período frio, a aplicação de giberelina pode substituir-se o sinal ambiental. As giberelinas também atuam no retardo da senescência de folhas e frutos e promovem a germinação de sementes (CAMILI, 2007).

A síntese das giberelinas ocorrem nos tecidos apicais, sendo redistribuídas para a planta por meio do floema. As etapas iniciais da biossíntese de giberelina podem ocorrer em um tecido e o metabolismo para torna-la ativa em outro (TAIZ et al., 2017).

4.3.3 Citocininas

As citocininas são compostos orgânicos que promovem a divisão celular em tecidos vasculares (TAIZ et al., 2017), além de participarem de outros processos fisiológicos como a senescência foliar, a mobilização de nutrientes, a dominância apical, a formação e a atividade dos meristemas apicais, o desenvolvimento floral, a germinação de sementes e a quebra de dormência de gemas (DOURADO NETO et al., 2004). TAIZ et al. (2017) citam que as citocininas estão inseridas nos processos de desenvolvimento de plantas regulados pela luz (diferenciação de cloroplastos, desenvolvimento do metabolismo autrófico e expansão de folhas e cotilédones).

O nome citocinina é devido à ação desta substância sobre a citocinese (COLL et al., 2001). As citocininas foram descobertas durante pesquisas sobre os fatores que estimulam as células vegetais a se dividirem. Segundo Rodrigues e Leite (2004) as citocininas de ocorrência natural são encontradas como moléculas livres, não ligadas a nenhuma macromolécula, e também como bases modificadas em certas moléculas de RNAttransportador. A biossíntese das citocininas ocorre nas

raízes, em embriões em desenvolvimento e em tecidos de do caule. A zeatina é, geralmente, a citocinina mais abundante. Além da zeatina, a diidrozeatina e a isopenteniladenina são comumente encontradas em plantas superiores.

De maneira geral, a citocinina promove a síntese de proteínas impedindo, dessa forma a senescência. Impedem a saída de proteases do vacúolo, inibindo a degradação de proteínas, inibem também a formação de radicais livres mantendo a integridade da membrana plasmática e a degradação da clorofila, mantendo a síntese de carboidratos (DAVIES, 2004; COLL et al., 2001). Essas substâncias, segundo Davies (2004) também estão envolvidas no desenvolvimento de organelas, na atividade enzimática, na abertura estomática, no desenvolvimento de frutos e na hidrólise de reservas de sementes.

De acordo com TAIZ et al. (2017) também são responsáveis pela citocinese durante o processo de divisão celular. Participam de muitos processos celulares, sendo que o controle da divisão celular é o processo central, possuem grande capacidade de promover a divisão celular, participando assim, do processo de alongamento e diferenciação celular, principalmente quando interagem com as auxinas.

A concentração de citocinina nas plantas variam em função do órgão, do estadio de desenvolvimento da planta, bem como das condições ambientais. As maiores concentrações de citocininas são encontradas em regiões meristemáticas ou em órgãos em crescimento com altas taxas de divisão celular, como folhas jovens, sementes em desenvolvimento, frutos e raízes. No entanto, o meristema apical da raiz apresenta-se como o principal local de síntese de citocininas em plantas e estas são redistribuídas pelo xilema para a parte aérea da planta; quando se encontram nas folhas, são relativamente imóveis (COLL et al., 2001; VIEIRA; CASTRO, 2004; TAIZ et al., 2017).

4.4. Uso de biorreguladores em cana-de-açúcar

O uso de biorreguladores na agricultura vem se tornando uma prática viável com objetivo de explorar o potencial produtivo das culturas. Os biorreguladores atuam numa regulação ativa dos processos fisiológicos da planta, propiciando respostas viáveis economicamente. Uma combinação bastante estudada em cana-de-açúcar e com efetivo aumento de produtividade de colmos e de açúcar tanto em

cana-planta quanto em cana-soca é a de um biorregulador composto por 90 mg L⁻¹ de cinetina, 50 mg L⁻¹ de ácido giberélico e 50 mg L⁻¹ de ácido 4-indol-3-ilbutírico (SILVA, 2010).

Zilliani (2015) estudando a influência do uso de biorreguladores sobre a fisiologia e crescimento inicial de cana-de-açúcar submetida ao déficit hídrico, conclui que a aplicação de Stimulate® promoveu uma atenuação dos efeitos deletérios e negativos do déficit hídrico, proporcionando melhores resultados em todos os parâmetros avaliados. Todavia, essa resposta é dependente do grau de tolerância da variedade em relação ao déficit hídrico, onde plantas mais sensíveis respondem a uma dose maior de biorregulador para amenizar os efeitos da falta de água.

Segundo o autor, o déficit hídrico causou a redução de todos os parâmetros fisiológicos em duas variedades analisadas, porém, a aplicação de Stimulate® atenuou os efeitos resultantes do déficit hídrico sobre os parâmetros fisiológicos, ocorrendo aumento nos valores de assimilação máxima de carbono, taxa máxima de carboxilação da Rubisco, taxa máxima de carboxilação da PEP-Case, condutância estomática e eficiência do uso de água, quando comparadas plantas tratadas e não tratadas com o biorregulador, em doses de 0,5 a 1,0 L ha⁻¹ (ZILLIANI, 2015)

No estudo promovido por Zilliani (2015) houve redução da condutância estomática nas plantas sob déficit hídrico, porém, o tratamento com biorregulador proporcionou a cultivar RB867515 um aumento de assimilação máxima de carbono de 30% na dose de 0,5 L ha⁻¹ e de 43% na dose de 1,0 L ha⁻¹, já nos parâmetros de carboxilação das enzimas Rubisco e PEP-Case, observou-se aumento médio de 39,0 e de 518%, para as respectivas doses. O tratamento com biorregulador reduziu a limitação estomática das plantas sob déficit hídrico, como também reduziu o ponto de saturação da fotossíntese ao CO₂, que teve redução de 26,2 e 48,4% nas doses de 0,5 e 1,0 L ha⁻¹, respectivamente. Isso, provavelmente, causou um aumento na eficiência do uso da água, que foi de 30% maior em relação as plantas controle. Na variedade SP81-3250 sob déficit hídrico observou-se aumentos expressivos em função da aplicação de Stimulate®, ocorrendo acréscimos de 48,6% na assimilação máxima de carbono, 35,2% na taxa máxima de carboxilação da Rubisco, 282% na taxa máxima de carboxilação da PEP-Case e redução em 63,7% no ponto de saturação de CO₂, seguidos de uma redução de 72% na limitação estomática.

Portanto, a aplicação do biorregulador aumentou a eficiência do uso de água em 46,3% nas plantas sob déficit hídrico.

Ainda relatando o trabalho de Zilliani (2015), após dois dias da reidratação das plantas, observou-se um nítido aumento da assimilação de CO_2 e da condutância estomática nas plantas tratadas com Stimulate® na variedade RB867515 e SP81-3250, para a dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$. Já nas doses 0 e $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ a recuperação da assimilação de CO_2 foi mais lenta do que a maior dose de biorregulador.

Dias et al. (2014) estudando o uso de Byozime, Stimulate e Pilatus no rendimento agrícola da cana-de-açúcar, observaram diferenças significativas entre os tratamentos para os anos de 2011 e 2012 em relação ao tratamento controle, onde o ano de 2011 apresentou um melhor rendimento agrícola, com respostas de produtividade chegando a 18% maiores no tratamento com 500 mL ha^{-1} de Biozyme

Ainda de acordo com os autores, verificando os resultados com 500 mL ha^{-1} de Biozyme, o mesmo proporcionou no ano de 2012, 8,19% a mais na produtividade com média nos dois anos avaliados de 13,38%. Os tratamentos com Biozyme proporcionaram nos dois anos com produtividade sempre superiores à testemunha e ao padrão Stimulate®.

Com relação a rendimento agroindustrial, verificou-se que os tratamentos com Biozyme permaneceram com resultados melhores que o tratamento controle nos anos de 2011 e 2012 diferindo-se estatisticamente, sendo que os tratamentos Biozyme 400 mL ha^{-1} e Biozyme 500 mL ha^{-1} os que proporcionaram os melhores resultados com ganhos relativos de 7,27 e 15,25 % para TPH (tonelada de pol por hectare) e de 7,86 e 15,79% para TAH.

4.5. As substâncias húmicas e sua ação bioestimulante

A matéria orgânica existente no solo, turfas, sedimentos e águas naturais apresenta-se como um sistema complexo de várias substâncias de diversas naturezas e por uma transformação contínua, sob a ação de fatores físicos, químicos e biológicos.

Segundo Caron et al. (2015), a matéria orgânica do solo pode ser dividida em dois grupos fundamentais, onde o primeiro está formado por compostos quimicamente bem definidos, incolores e exclusivos dos solos. A maioria destas

substâncias são compostos simples, com baixo peso molecular, utilizados como substratos pelos microrganismos. Esses compostos constituem aproximadamente, de 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais, e são proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas, álcool, auxinas, aldeídos e ácidos aromáticos e alifáticos. O segundo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, constituindo de 85 a 90 % da reserva total do carbono orgânico, (CARON et al., 2015).

As substâncias húmicas são amplamente distribuídas no solo, tendo origem na degradação química e biológica de resíduos orgânicos e da atividade sintética dos microrganismos do solo. Os produtos resultantes desse processo de degradação associam-se em estruturas complexas mais estáveis, de coloração escura, elevado peso molecular, separadas com base em características de solubilidade (CARON et al., 2015).

Classificasse essas substâncias em Humina, que é a fração insolúvel em meio alcalino ou em meio ácido diluído, de reduzida capacidade de reação; Ácidos Húmicos, que é a fração escura solúvel em meio alcalino, precipitando-se em forma de produto escuro e amorfo em meio ácido, sendo quimicamente muito complexo, formados por polímeros compostos aromáticos e alifáticos com elevado peso molecular, e grande capacidade de troca catiônica; Ácido Fúlvico, a fração colorida que se mantém solúvel em meio alcalino ou em meio ácido diluído, sendo quimicamente constituídos por polissacarídeos, aminoácidos, compostos fenólicos, etc, apresentando um alto conteúdo de grupos carboxílicos e seu peso molecular é relativamente baixo; e os Ácidos Hymatomelânicos, fração dos ácidos húmicos solúveis em álcool (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014; CARON et al., 2015).

Os ácidos húmicos e fúlvicos são as substâncias húmicas mais estudadas, e suas composições médias, de uma unidade básica, em termos de fórmulas químicas médias são $C_{187} H_{186} O_{89} N_9 S_2$, para os ácidos húmicos e $C_{135} H_{182} O_{95} N_5 S_2$ para os ácidos fúlvicos (SCHNITZER; KHAN, 1978; SANTOS).

Por meio de estudos com o uso da técnica de espectroscopia de ressonância magnética nuclear, definiu-se as substâncias húmicas, como sendo compostos bi ou tridimensionais, formados por estruturas aromáticas, com porções de cadeias alifáticas estáveis, unidas por pontes de hidrogênio, contendo grupos

carboxílicos, carbonilas, fenílicos, alcoólicos, hidroquinonas, entre outras como representadas nas figuras 4 e 5 (BRADY; WEIL, 2013).

De acordo com Baldotto e Baldotto (2014) as substâncias húmicas do solo possuem tamanho que permite incluí-las na faixa dos coloides (maior que 250 μm), com características próprias, destacando-se sua elevada superfície específica, conferindo-lhes alta reatividade, permitindo que a fração orgânica do solo, mesmo em baixos conteúdos, seja responsável por elevada porcentagem da capacidade de trocas catiônicas (CTC) e aniônicas (CTA) dos solos.

A CTC dependente de pH, o componente de cargas negativas mais importante dos solos tropicais, tem sua atividade maximizada com o aumento do teor de matéria orgânica. Considerando-se apenas a CTC variável ou dependente de pH, as contribuições da argila e matéria orgânica representam em média 10 e 90% de sua carga (PAVAN et al., 1985). Estas propriedades das substâncias húmicas do solo, quando bem manejadas, otimizam a eficiência dos fertilizantes e reduzem a sua ação contaminante. Esta característica define a ação tampão das substâncias húmicas nos solos.

Figura 4 - Estrutura dos ácidos fúlvicos. Fonte: Schulten e Schnitzer, 1993.

Figura 5 - Estrutura bidimensional dos ácidos húmicos. Fonte: Schulten e Schnitzer, 1993.

As substâncias húmicas possuem grande capacidade de retenção de água no solo, por meio da formação de agregados. A propriedade coloidal das substâncias húmicas promove a agregação das moléculas pelas ligações covalentes com o hidrogênio, formando estruturas esponjosas com grandes espaços vazios, permitindo reter grandes quantidades de água no solo, liberando-a lentamente para a planta, controlando sua água capilar (BRADY; WEIL, 2013).

Segundo Kiehl (1985) a matéria orgânica fresca, tem capacidade de retenção de água em torno de 80% do seu peso, e à medida que ocorre o processo de humificação, essa capacidade se eleva para 160%. A matéria orgânica bem humificada, rica em coloides, como as turfas e os solos orgânicos, podem ter de 300 a 400% de capacidade de retenção, enquanto que as substâncias húmicas puras podem alcançar de 600 a 800% de capacidade de reter água, ou seja, de 6 a 8 vezes o seu peso.

De acordo com Beauclair et al. (2010), a cana-de-açúcar é uma das culturas em que o uso de ácidos húmicos e fúlvicos, como condicionadores de solo, vêm

sendo testados. Os autores relataram grande eficiência na produtividade desta cultura, por meio de trabalhos e experimentos realizados a campo, observando a promoção de um maior desenvolvimento vegetativo, proporcionado por um sistema radicular mais vigoroso e amplo, com maior exploração do volume do solo.

De acordo com Reeves (1997), a matéria orgânica é o principal indicador da qualidade do solo, pois seu teor é muito sensível às práticas de manejo. Beauclair et al. (2007) ressaltam que a composição da MO pode ser simulada pelos chamados organominerais, fontes de ácidos húmicos e fúlvicos que, segundo Vitti et al. (2009), podem estimular o desenvolvimento do sistema radicular da cultura, interferindo diretamente no aspecto nutricional e no vigor da planta.

Vitti et al. (2009), em experimento realizado em vaso estudando cana-planta, demonstraram que não houve diferença significativa para acúmulo de fitomassa na planta toda entre tratamentos que receberam produtos organominerais (três tratamentos com doses de 1,5; 3,0 e 4,5 L ha⁻¹) comparado ao tratamento com torta de filtro (dose de 20 t ha⁻¹). Verificaram também o acúmulo de nutrientes na cana planta e concluíram que os organominerais conseguiram ser mais eficientes em produzir fitomassa comparados à torta em relação a quantidade de nutriente absorvida.

Franco et al. (2007), relatam uma possível explicação baseada no consumo de luxo, pois, apesar de ocorrer maior acúmulo de nutrientes no tratamento com torta de filtro, tanto na parte aérea como no sistema radicular, o nutriente absorvido pode não ter sido totalmente metabolizado, havendo gasto desnecessário de energia para absorção dos nutrientes.

Em dois destes trabalhos realizados por Beauclair et al. (2010) com a cultura da cana-de-açúcar, quando usaram o condicionador de solo na concentração de 300 litros por hectare e mais 1600 kg ha⁻¹ de adubação mineral (2,5-10-10), houve um incremento significativo na produtividade da cana-planta em relação ao tratamento com uso apenas do adubo mineral. Ainda, quando usaram em “cana de inverno” observaram que as parcelas com o condicionador de solo apresentaram maior curva de crescimento de massa verde em relação às outras parcelas sem este insumo.

Canellas et al. (2006) apontaram que os ácidos húmicos têm ação sobre a formação de sítios de mitose nas raízes, aumentando raízes laterais, assim como aumento na atividade da bomba de H⁺, favorecendo a emissão de pêlos radiculares

que, em associação com moléculas bioativas de grupos auxínicos presentes nas substâncias húmicas, interagindo com a membrana plasmática da raiz, favorecem uma maior absorção de água e nutrientes, o que possui ligação direta com a nutrição e produtividade da cultura.

4.6. O estresse em plantas

As condições adequadas de crescimento das plantas podem ser definidas como as que permitem que ela alcance o seu potencial genético pleno. Qualquer fator externo que possa limitar a expressão desse potencial pode ser caracterizado como estresse. Por exemplo, um decréscimo na intensidade luminosa causaria uma redução na atividade fotossintética, com uma diminuição concomitante no suprimento de energia para a planta. Sob essas condições, a planta poderia compensar de duas maneiras: diminuindo a velocidade da biossíntese, reduzindo, assim, sua taxa de crescimento, ou recorrendo às suas reservas, armazenadas na forma de amido. De qualquer uma das formas, a planta teria um maior gasto energético, podendo influenciar na sua produção.

Do mesmo modo, um decréscimo na disponibilidade de água também teria um efeito deletério no crescimento. Uma maneira de compensar o decréscimo no potencial hídrico é pelo fechamento dos estômatos, que reduz a perda de água por transpiração. No entanto, o fechamento estomático também diminui a absorção de CO₂ pela folha, reduzindo, assim, a fotossíntese e reprimindo o crescimento (TAIZ et al., 2017).

As plantas requerem luz, água, carbono e nutrientes minerais para o crescimento. O estresse abiótico é definido como condições ambientais que reduzem o crescimento e a produtividade. As respostas das plantas aos estresses abióticos são dinâmicas e complexas (SKIRYCZ; INZE, 2010), podendo ser reversíveis ou irreversíveis.

As respostas das plantas ao estresse dependem do tecido ou órgão afetado. As respostas ao estresse de tecidos ou células das raízes são significativamente diferentes de outros órgãos, dependendo do estresse envolvido (DINNENY et al., 2008). Além disso, o nível e a duração do estresse, agudo ou crônico, podem ter um efeito significativo na complexidade da resposta (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

De acordo com Skirycz e Inze (2010), o déficit hídrico inibe o crescimento das plantas ao reduzir a absorção de água nas células em expansão ao alterar, por meio de enzimas, as propriedades da parede celular, por exemplo, pela atividade de ROS (espécies reativas de oxigênio). Além disso, afeta-se a condutância da água para as células em expansão pela atividade das aquaporinas e pelo embolismo do xilema (PARENT et al., 2009; NARDINI et al., 2011). A inibição do crescimento inicial causado pelo déficit hídrico ocorre antes de qualquer inibição causada por estresse na fotossíntese ou respiração.

De acordo com Tang e Boyer (2002), a limitação do crescimento em plantas sob déficit hídrico ocorre devido as células recém-divididas do xilema, na zona de crescimento, conferirem resistência ao fluxo de água para as células em expansão na epiderme, tornando necessário que a planta desenvolva um gradiente de potencial de água maior. Logo, o crescimento torna-se limitado pela capacidade da planta de ajustar seu potencial osmótico. As células epidérmicas aumentam seu gradiente osmótico utilizando de solutos provenientes do floema. Tais solutos são fornecidos pela fotossíntese, que também está fornecendo energia para o crescimento e outras funções metabólicas da planta. Como efeito de um estresse hídrico de longo prazo, a fotossíntese diminui devido às limitações estomáticas para a absorção de CO₂ e ao aumento da fotoinibição, devido dificuldades na dissipação do excesso de energia luminosa (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

Uma das primeiras respostas metabólicas e bioquímicas aos estresses abióticos é a inibição da síntese protéica e um aumento na degradação de proteínas (LIU; HOWEL, 2010). A medida que se aumenta a intensidade e a duração do estresse fisiológico, o metabolismo energético é afetado (por exemplo, açúcares, lipídios e fotossíntese) (PINHEIRO; CHAVES, 2011). Assim, observa-se mudanças graduais e complexas no metabolismo das plantas em resposta ao estresse abiótico.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta

O experimento foi implantado e conduzido no município de Analândia/SP. Coordenadas geográficas 22°08'12" S e 47°36'44" O, numa altitude de 748 m., na Fazenda Cachoeira uma área de produção da Usina São João de Araras/SP. O clima corresponde ao tipo Cwa, clima tropical úmido, com inverno seco e verão quente e úmido, com estações do ano bem definidas (KÖPPEN, 1948), com temperatura média mínima de 17,2 °C e máxima de 26,9 °C, e pluviosidade média de 1460 mm anuais.

Figura 6 - Localização do experimento dentro da área de produção de cana-de-açúcar da Fazenda Cachoeira, Analândia/SP. Período: Junho/2016 a Julho/2017.

O solo da área foi caracterizado como Neossolo Quartizarênico (EMBRAPA, 2013). A textura do solo foi classificada como arenosa, diante das seguintes proporções no resultado de análise física das partículas: 80% areia, 6% silte e 14% argila.

Tabela 1 - Caracterização química do solo anterior a instalação do experimento.

Prof	pH	P(res)	K(res)	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	M.O.	V
cm	CaCl ₂	mg dm ⁻³			mmolc.dm ⁻³				%	
0 - 20	5,7	25,0	1,6	26,0	13,0	0,0	13,0	54	2,3	76
20 - 40	5,7	8,0	0,7	20,0	10,7	0,0	13,0	44	1,5	71

Extratores: pH: CaCl₂; P,K, Ca e Mg: Resina trocadora de íons; S Fosfato de cálcio.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB867515, uma das variedades mais plantadas no Brasil, que ocupa grandes áreas de cultivo principalmente em ambientes produtivos menos favoráveis ao desenvolvimento da cultura, apresentando boa produção durante os ciclos, em solos de baixa fertilidade natural e de textura arenosa. Possui capacidade de adaptar-se em ambientes com pouca disponibilidade hídrica, pois apresenta baixa intensidade de perfilhamento, com uma menor demanda hídrica e nutricional. A curva de perfilhamento ao longo do ano é suave, o que diminui a competição intraespecífica, resultando num maior pegamento dos perfilhos. Com ciclo precoce e responsiva a aplicação de maturadores, sendo boa alternativa para início de safra, com bom rendimento industrial (RIDESA, 2010).

5.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 9 tratamentos, distribuídos aleatoriamente em 5 blocos, totalizando 45 parcelas. Os tratamentos foram compostos por diferentes épocas de aplicação de Stimulate e adubações de plantio com compostos orgânicos, sendo assim divididos:

Tabela 2 - Tratamentos com reguladores de crescimento.

Tratamentos		Pulverização no sulco (Plantio)	Pulverização foliar (Rebaixamento da entrelinha)	Pulverização foliar aérea (Crescimento final)
01	Controle	-	-	-
02	Stimulate®	0,5 L ha ⁻¹	-	-
03	Stimulate®	-	0,5 L ha ⁻¹	-
04	Stimulate®	-	-	0,5 L ha ⁻¹
05	Stimulate®	0,5 L ha ⁻¹	-	0,5 L ha ⁻¹
06	Stimulate®	0,5 L ha ⁻¹	0,5 L ha ⁻¹	-
07	Stimulate®	-	0,5 L ha ⁻¹	0,5 L ha ⁻¹
08	Torta de Filtro	15 t ha ⁻¹	-	-
09	Cama de frango	5 t ha ⁻¹	-	-

Bloco 05	8	2	4	1	7	9	5	6	3
Bloco 04	3	7	9	2	5	6	8	1	4
Bloco 03	1	4	2	8	3	6	5	9	7
Bloco 02	5	8	1	3	6	7	9	4	2
Bloco 01	7	6	2	4	3	5	1	8	9

Figura 7 - Distribuição das parcelas no experimento.

As parcelas experimentais foram compostas de 06 sulcos de 10 metros de comprimento espaçados em 1,5 m entre linhas, com uma área de 90 m² e 60 metros lineares de sulco por parcela (Figura 7). Foram utilizadas para avaliações durante o ciclo da cultura as quatro linhas centrais da parcela, tornando-as demais bordaduras. Na colheita foi utilizada a parcela total. O experimento apresentou área total de 2.700 metros lineares de sulco e 4.050 m².

Figura 8 - Croqui da parcela

5.3. Instalação e desenvolvimento do experimento

O plantio ocorreu no dia 01 de junho de 2016. A área utilizada para instalação do experimento tem um histórico de cultivo de citros, pomar de laranja, com braquiária na entrelinha. Iniciou-se a instalação do experimento com o preparo do solo da área, com as seguintes operações: aração profunda, para incorporação de resíduos vegetais e descompactação, gradagem, para o nivelamento do solo antes da sulcação, e plantio.

Figura 9 - Sulcação da área para o plantio dos toletes. Analândia/SP. Período: Junho, 2016

A adubação foi realizada com base na análise química e física do solo e recomendada de acordo com os critérios utilizados pela Usina. Não houve necessidade da aplicação de corretivo de solo visto que o pH e a saturação por bases estavam em valores adequados para o cultivo. O teor de Al no solo é 0 o que descarta a necessidade de aplicação de gesso e a concentração dos nutrientes Ca e Mg no solo encontra-se dentro das faixas adequadas, descartando a necessidade de complementação via adubação mineral ou calagem desses nutrientes.

Os tratamentos com Stimulate e o Controle receberam adubação com fertilizante mineral de plantio formulado 10-20-20, na dose de 500 kg ha⁻¹, correspondente a 4,5 kg por parcela. A adubação mineral foi aplicada mecanicamente, na operação de sulcação (figura 9).

Para os tratamentos 8 e 9, a adubação recomendada foi de fertilizantes orgânicos, sendo estes pesados e aplicados de forma manual, com o uso de baldes. A recomendação das quantidades de composto de torta de filtro e de cama de frango a serem aplicadas foi determinada de acordo com a análise química dos

mesmos (Tabela 3 e 4), sendo as doses recomendadas de acordo com a necessidade de fósforo da cultura, sendo aplicados 135 kg por parcela de composto a base de torta de filtro (figura 10), equivalente à 15 toneladas por hectare, no tratamento 8, e 45 kg de cama de frango por parcela, equivalente à 5 toneladas por hectare, no tratamento 9.

Figura 10 - Aplicação do tratamento à base de composto orgânico de torta de filtro. Analândia/SP. Período: Junho, 2016

Tabela 3 - Caracterização química de composto orgânico (torta de filtro), base seca.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	MO	Umidade	C
%									
1,33	1,95	0,38	2,92	0,49	0,45	4,21	40,35	59,33	24,88

Extratores: P, K, Ca, Mg, S e Fe: HCl (ácido clorídrico) quente. N: H₂SO₄ (ácido sulfúrico).

Tabela 4 - Caracterização química da cama de frango, base seca.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Fe	MO	Umidade	C
%									
3,63	3,11	3,54	35,7	1,16	0,58	-	81,84	30,75	47,47

Extratores: P, K, Ca, Mg, S e Fe: HCl (ácido clorídrico) quente. N: H₂SO₄ (ácido sulfúrico).

O biorregulador utilizado foi o Stimulate, da Stoller do Brasil Ltda., constituído de três grupos químicos de hormônios sintéticos: auxina (0,005%), giberilina (0,005%) e cinetina (0,009%), aplicados na dose de 500 mL ha⁻¹, correspondendo a 4,5 mL por parcela por aplicação.

Conforme na tabela 2 a aplicação de Stimulate® foi distribuída da seguinte forma nos tratamentos: 1 controle sem aplicação, 2 aplicação no plantio, 3 aplicação no rebaixamento da entrelinha, 4 aplicação no crescimento final, 5 aplicações no plantio e crescimento final, 6 aplicações no plantio e rebaixamento da entrelinha, 7 aplicações no rebaixamento da entrelinha e crescimento final, 8 torta de filtro sem aplicação, 9 cama de frango sem aplicação.

A primeira aplicação de Stimulate (figura 11) foi realizada via pulverização no sulco de plantio quando é feito o tratamento de toletes; a segunda aplicação foi realizada após operação de quebra lombo via foliar simulando uma aplicação de pulverizador tratorizado 28/10/2016 148 DAP e a terceira e última aplicação foi realizada em 30/01/2016 240 DAP na época do último crescimento da planta, simulando uma aplicação aérea realizada por aeronave agrícola. Utilizou-se bomba costal pressurizada por CO₂, com o volume de calda de 2 L por parcela, equivalente a 222 L ha⁻¹. O bico utilizado foi do tipo leque, com ângulo de 110° e diâmetro de 0,2 milímetros da marca *Jacto*.

Figura 11 - Aplicação Stimulate® no sulco de plantio. Analândia/SP. Período de junho 2016 a julho 2017.

Como método preventivo contra o ataque de *Sphenophorus levis*, *Migdolus fryanus* e Cupins (*Heterotermes tenuis*, *Cornitermes cumulans*, *Neocapritermes cumulans*, *Neocapritermes opacus*, *Procornitermes triacifer*) foi utilizado o inseticida Fipronil na dosagem de 200 g ha^{-1} , além do uso do fungicida Piraclostrobina na dosagem de $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ para prevenção da podridão-abacaxi (*Ceratocystis paradoxa*).

No controle de plantas daninhas na pré-emergência foi utilizado S-Metolaclo, $3,0 \text{ L ha}^{-1}$. No controle de plantas daninhas em pós-emergência foi utilizado a combinação de herbicidas Mesotrione (480 g L^{-1}), associado de Diuron + Hexazinona, na dosagem de $0,3 \text{ L ha}^{-1}$ e $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente.

5.4. Avaliações

Foram realizadas quatro avaliações abaixo especificadas, sendo a primeira aos 70 dias após o plantio (DAP); a segunda no momento do rebaixamento da entrelinha (quebra-lombo) aos 105 DAP; a terceira na fase final de crescimento aos

240 DAP; e a quarta no momento da colheita, no dia 6 de junho de 2017, quando o canavial completava 12 meses (cana de inverno).

5.4.1. Número de perfilhos

Foi realizada a contagem dos perfilhos (figura 12) em 10 metros lineares de sulco das quatro linhas centrais das parcelas. Foram considerados na contagem os perfilhos que apresentaram no mínimo duas folhas totalmente desenvolvidas e estavam vivos (com estas duas folhas verdes).

Figura 12 - Contagem do número de perfilhos. Analândia/SP. Período de junho 2016 a julho 2017.

5.4.2. Altura de plantas

Com auxílio de uma fita métrica foi realizada a determinação da altura dos perfilhos vivos, nas avaliações de crescimento mediu-se da base do colmo até a curvatura da folha do dossel da planta. Para altura do colmo na biometria final mediu-se da base até o palmito, descartando-se o ponteiro e considerando somente o colmo industrializável.

5.4.3. Produtividade

A produtividade da cana-planta foi calculada a campo, em parcela total, sendo a colheita realizada com corte manual, sem despalha a fogo. Foi colhida toda a cana-de-açúcar da parcela, ou seja as 6 linhas de 10 metros, separando-se o palmito e material morto e pesando apenas os colmos. De posse da massa dos colmos nos 60 metros de linha foi calculada a produção, em toneladas de colmo por hectare (TCH), considerando 6.666,67 metros lineares de cana-de-açúcar por hectare (1,5 metros de espaçamento entre linhas).

5.4.4. Análises tecnológicas

As análises tecnológicas foram realizadas na colheita, sendo colhidos e enviados para o laboratório 10 colmos por parcela, para determinação e cálculo dos atributos tecnológicos, sendo esses Brix, Pureza, Fibra, Pol da cana (Pc), Açúcares redutores (AR) e Açúcar total recuperável (ATR), (Fernandes, 2003).

5.5. Balanço hídrico climatológico

Para a elaboração do balanço hídrico e climatológico foram utilizados parâmetros meteorológicos (precipitação, temperatura e evapotranspiração) coletados em estação meteorológica do CCA-UFSCAR localizado no município Araras/SP. O balanço hídrico climatológico foi obtido por meio de planilha eletrônica (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998). Para os cálculos de evapotranspiração da cultura foram utilizados os índices de Kc desenvolvidos por Doorenbos e Kassan (1994). De acordo com Otto (2007), foi substituído o Kc de 1,05 por 1,25, na fase de máximo crescimento, conforme ALLEN et al. (1998) e INMAN-BAMBER; McGLINCHEY (2003).

5.6. Análise estatística

Os valores quantificados para as variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F, ao nível de 95% de confiança. Para as causas de variação significativas, foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no software Sisvar (FERREIRA, 2000).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analizou-se o uso de biorregulador e compostos orgânicos sobre as variáveis biométricas componentes da produtividade, sobre a produtividade agrícola e industrial e sobre o teor de macro e micronutrientes presentes na folha da cana-planta. Abaixo apresentam-se os resultados obtidos, seguidos da discussão e contextualização dos mesmos, com dados climáticos e com demais constatações realizadas por diferentes estudos na mesma linha de pesquisa.

6.1. Balanço hídrico e climatológico

Durante o ciclo de desenvolvimento da cana as precipitações foram razoavelmente bem distribuídas. Somente do primeiro decênio de julho ao primeiro decênio de agosto do ano de 2016 que foi um período de estiagem mais prologado o que é normal para nosso inverno frio e seco. Após esse período os momentos de déficit hídrico também foram observados (figuras 15 e 16) em três oportunidades, durante a estação quente e úmida (verão), tivemos o evento climatológico popularmente conhecido como veranico, período de 10 á 15 dias sem precipitações durante a época chuvosa. Este evento climático fica evidenciado na linha de precipitação da figura 13 que chega ao marco de 0 mm no segundo decênio de fevereiro, no terceiro decênio de março e no segundo decênio de abril do ano de 2017.

No período de estiagem e nos três veranicos identificados, observamos (figura 14) que a linha da evapotranspiração real da cultura (ETRc) perde contato com a linha da evapotranspiração potencial da cultura (ETPc), e nestas ocasiões a planta diminui suas ações de crescimento e desenvolvimento em função do déficit hídrico mostrado nas figuras 15 e 16.

Na modalidade de plantio de inverno a cana-de-açúcar desempenha crescimento inicial mais lento em relação ao plantio de verão, os 183,2 mm acumulados até o final do terceiro decênio de setembro garantiram a estabilização da cultura durante o período de crescimento lento, nessa fase tivemos excedente hídrico de 89,4 mm e deficit de 73,7 mm, a ETPc totalizou 239,34 mm e a ETRc 165,6 mm e média de temperatura de 19,24 °C.

O estágio de máximo desenvolvimento da cultura iniciou-se em meados de outubro 2016 ate março de 2017 nesse período a precipitação acumulada foi de 1.109,4 mm e um déficit hídrico de 19,07 mm e uma temperatura média de 23,22°C.

As condições climáticas, precipitação e temperatura foram favoráveis ao crescimento da cultura e não prejudicou o desempenho, observado elevados valores de evapotranspiração. A ETPc foi de 646,07 mm, com uma média de 3,59 mm dia⁻¹, e a ETRc foi de 626,4 mm, e média de 3,48 mm dia⁻¹.

A partir do primeiro decênio de abril, com a diminuição da precipitação, iniciou-se o estágio de maturação, sendo a cana colhida em junho de 2017. Nessa fase, a precipitação acumulada foi de 254,3 mm e o déficit hídrico de 6,27 mm, tendo o solo uma boa disponibilidade hídrica. A ETPc foi de 145,8 mm, com uma média de 2,4 mm dia⁻¹ e a ETRc foi de 139,60 mm, com 2,3 mm dia⁻¹.

No ciclo total, a precipitação acumulada foi de 1.546,00 mm e o déficit hídrico de 99,63 mm. A ETPc foi de 1.031,28 mm e a ETRc de 931,65 mm. O balanço climatológico está dentro dos limites descritos por Landell et al. (2014) precipitação anual mínima para a cultura de 1.200 mm, concentrados na primavera e verão, com inverno seco e/ou frio bem característico, déficit hídrico máximo de 200 mm.

No mês de junho de 2016 em que foi implantado o experimento tivemos 107,7 mm de precipitação acumulados, minimizando as chances de estresse hídrico no desenvolvimento inicial da cultura. As chuvas volumosas nos dias que sucederam o plantio também podem ter prejudicado a eficiência do Stimulate ®. Logo o excedente hídrico do mês de junho garantiu o desenvolvimento da cana-planta durante 40 dias sem precipitações. Após a estiagem as chuvas se normalizaram em outubro, mês em que também ocorreu a primeira aplicação foliar de Stimulate ®.

Do Primeiro decênio de outubro/2016 até o corte (maio/2017) podemos observar na figura 14 a linha ETR sobrepondo a linha ETP durante quase todo este período indicando que a precipitação foi satisfatória durante o ciclo da cultura, principalmente no período de máximo crescimento.

As aplicações de Stimulate ® em 28/10/2016 e 30/01/2017 via foliar também coincidiram com épocas de excedente hídrico. Pelo fato de que as aplicações foram realizadas em datas (Figura 13) onde as plantas possivelmente não passavam por fator hídrico limitante e que mesmo sendo um plantio fora da época de maior pluviosidade, no ano do ciclo da cultura em questão o clima se comportou de forma favorável ao desenvolvimento da cultura com chuvas bem distribuídas minimizando este fator de estresse.

Figura 13 - Temperatura e precipitação, marcações das aplicações de Stimulate, em Analândia/SP. Período de junho 2016 a julho 2017.

Figura 14 - Precipitação; ETP: Evapotranspiração potencial; ETR: Evapotranspiração real, no ciclo da cana-planta em Analândia/SP. Período de junho 2016 a julho 2017.

Figura 15 - Extrato do balanço hídrico no ciclo da cana-planta em Analândia/SP. Período de junho 2016 a julho 2017.

Figura 16 - Extrato detalhado do balanço hídrico no ciclo da cana-planta em Analândia/SP. Período de junho 2016 a julho 2017.

6.2. Variáveis biométricas

Os resultados da análise das variáveis biométricas em função dos tratamentos estudados encontram-se apresentados na tabela 5, não sendo observada diferença significativa para nenhum dos tratamentos estudados sobre as variáveis analisadas.

O número de colmos por metro, a altura e o diâmetro de colmos, constituem os componentes para a formação do potencial agrícola (LANDELL; SILVA, 2004).

Segundo Oliveira (2016) a análise biométrica consiste em um método de avaliar o desenvolvimento vegetativo da cultura, destacando-se como importante ferramenta na comparação de variedades, em processos de seleção e no manejo varietal.

Tabela 5 – Variáveis biométricas na colheita da cana-planta em função de épocas de aplicação de reguladores de crescimento e adubação orgânica. Analândia/SP. Período de junho 2016 a junho 2017.

Tratamento	Colmos $n^{\circ} m^{-1}$	Altura cm	Diâmetro cm
Controle	8,81 a	296,74 a	3,14 a
Stimulate no sulco de plantio	9,26 a	297,18 a	3,03 a
Stimulate no quebra-lombo	9,60 a	283,88 a	3,04 a
Stimulate no crescimento final	9,34 a	288,46 a	3,07 a
Stimulate no plantio e no final	8,97 a	290,88 a	3,02 a
Stimulate no plantio e no quebra lombo	9,05 a	290,70 a	3,06 a
Stimulate no quebra-lombo e no final	8,98 a	290,88 a	3,09 a
Composto de torta de filtro	9,22 a	284,68 a	2,95 a
Composto de cama de frango	8,81 a	290,94 a	3,05 a
Média	9,05	290,48	3,05
C.V. (%)	10,2	4,0	3,6

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Quanto aos colmos no momento da colheita, o número médio foi de 9 colmos por metro com um coeficiente de variação de 10,2%, não sendo observada influência das épocas de aplicação do biorregulador e nem dos compostos orgânicos, sendo este mesmo comportamento observado para a altura de colmos, com média de 290,48 cm e coeficiente de variação de 4,0%, e para o diâmetro dos colmos, que apresentou média de 3,05 cm e coeficiente de variação de 3,6%.

Ferreira et al (2013) estudando os efeitos da aplicação, no sulco de plantio, de biorreguladores (ácido indol-butírico à $0,05 \text{ g dm}^{-3}$, cinetina à $0,09 \text{ g dm}^{-3}$ e ácido giberélico à $0,05 \text{ g dm}^{-3}$) em oito cultivares de cana-de-açúcar na região de Pereira Barreto/SP, encontraram respostas similares a deste trabalho, onde os reguladores vegetais não afetaram o comprimento do colmo, nem a massa de um colmo e nem o número de colmos por metro, porém foi observada diferença estatística para o diâmetro dos colmos das áreas tratadas com o biorregulador, sendo creditado a esta variável o aumento de produtividade.

Quanto ao número de colmos por metro, Ferreira et al. (2013) ressaltam que no momento final do perfilhamento, aos 141 DAP, o biorregulador favoreceu um maior número de perfilhos por metro, porém apenas para a variedade SP99-3440, mas observou-se que este efeito benéfico no número de perfilhos não se manteve até o final do ciclo, pois o número de colmos não apresentou diferença significativa entre os tratamentos estudados. Os autores ressaltam ainda que algumas variedades mostraram uma maior sensibilidade aos biorreguladores, como é o caso da SP83-2847 e da SP81-3250, que tiveram as maiores médias de produtividades de colmos quando tratadas com os biorreguladores.

Bolonhezi et al. (2013) avaliando o desempenho de três variedades tratadas com biorreguladores aplicados sobre os toletes e via foliar na fase de perfilhamento, concluíram que não houve efeito significativo do uso do biorregulador sobre o número de perfilhos e de colmos por metro.

Alguns trabalhos observaram diferenças estatísticas para melhorias das variáveis biométricas componentes da produtividade com o uso do biorregulador Stimulate®, associado ou não com adubo foliar (Miguel et al., 2009; Rossetto et al., 2007; Silva et al., 2010), divergindo com os resultados encontrados por Bolonhezi et al. (2013) e neste trabalho.

A produtividade da cana-de-açúcar pode ser estimada utilizando-se parâmetros biométricos, considerando-se como componentes da produtividade o diâmetro e o comprimento dos colmos, o número de colmos por área, associado à capacidade de perfilhamento, e a densidade do colmo. Todos esses componentes são caracteres genéticos, porém, sujeitos à influência ambiental (SKINNER, 1967; LANDELL; SILVA, 1995).

O número de colmos colhidos por unidade de área é um dos componentes que mais afeta a produtividade de cana (MACHADO, 1987), e um bom perfilhamento é o primeiro passo para se garantir um bom estande de colmo na linha.

Machado et al. (1982), estudando duas variedades de cana-de-açúcar, observaram grande produção de colmos nos estádios iniciais da cultura, com um máximo por volta de 125 dias após o plantio, sendo observada posteriormente uma redução natural de, aproximadamente, 50% no número de colmos m^{-2} . A densidade final de colmos quantificada foi de 08 e 09 colmos m^{-2} . Creditou-se este resultado ao sombreamento e a competição entre as plantas.

Silva (2009) obteve melhores resultados de produtividade e desenvolvimento radicular de touceiras utilizando a dose de 1 L ha^{-1} do biorregulador Stimulate®, ao passo que Miguel (2009) observou melhores produtividades com o uso de 0,5 L ha^{-1} do mesmo biorregulador, resultando num incremento da ordem de 20% na produtividade. Rocha et al. (2016) encontraram melhores respostas utilizando a dose de 2,0 L ha^{-1} do biorregulador, obtendo um maior perfilhamento e enraizamento em canteiros de areia lavada.

Silva et al. (2007) observaram efeito do uso do biorregulador na emergência, na brotação e no perfilhamento, observando um melhor desenvolvimento sob os demais tratamentos estudados até seis meses após o início da brotação.

Costa (2010) concluiu em seu trabalho que o uso de bioestimulantes e biorreguladores torna-se um complemento no auxílio da manutenção fisiológica das plantas, o que pode ser muito importante em condições de estresse ambientais (seca, geadas, excesso de luz) ou bióticos (ataque de pragas e doenças).

Ferreira et al. (2013) constataram que nos primeiros 35 dias após o plantio, correspondente a fase de brotação, o uso de biorregulador favoreceu de modo significativo o estabelecimento inicial da cana-planta, e que o efeito positivo influi no perfilhamento por metro até os 141 dias após o plantio. Acredita-se que quando as condições de umidade do solo são favoráveis com os estímulos do biorregulador há um maior perfilhamento, sendo que, por outro lado, quando as plantas estão estressadas pela falta de água, tais estímulos não são assimilados pelas plantas. Ressalta-se que os autores não observaram efeito significativo da interação do biorregulador com as cultivares estudadas.

Oliveira et al. (2013) concluem que a produtividade da cana-de-açúcar é um reflexo do número de colmos por hectare. O tratamento Agrolmin, Regente e Comet resultou maior número de colmos por metro, entretanto, a diferença para o segundo tratamento (controle) com mais colmos foi de apenas 7,8%.

Sarto et al. (2009) concluíram que o uso de substâncias húmicas também não resultou num maior perfilhamento em seis variedades de cana-de-açúcar estudadas.

6.3. Produtividade agrícola e industrial

Analizou-se também a influência do uso do biorregulador e de compostos orgânicos sobre a produtividade agrícola, medida em toneladas de cana por hectare (TCH) e industrial da cana-planta, medida em Açúcar Total Recuperável por tonelada (ATR) e toneladas de açúcar por hectare (TAH), sendo os dados apresentados na tabela 6.

Iniciando pela produtividade agrícola, observou-se diferença estatística entre os tratamentos estudados, sendo que o tratamento Stimulate® aplicado no sulco de plantio, na dose de 0,5 L ha⁻¹, apresentou a maior produtividade, com 129,93 TCH, correspondendo a um acréscimo de 20,17 t ha⁻¹, um aumento de 18,4% na produção. Entretanto os tratamentos com a aplicação de Stimulate® sulco de plantio combinados com a segunda aplicação em quebra lombo ou no crescimento final tiveram TCH inferior ao tratamento com aplicação somente no sulco de plantio e não diferenciaram-se estatisticamente dos demais. E apresentaram as menores produtividades: tratamento Stimulate® no sulco de plantio e no quebra lombo, com uma dose de 1,0 L ha⁻¹, com 112,89 TCH; tratamento Stimulate® no sulco de plantio e no crescimento final, com uma dose de 1,0 L ha⁻¹, com 113,16 TCH igualados estatisticamente com o controle que teve a menor produção com 109,76 TCH.

A produtividade média do ensaio foi de 116,18 TCH com um coeficiente de variação de 6,6%. Os demais tratamentos estudados não diferiram nem do mais produtivo e nem dos menos produtivos, de acordo com o teste de Tukey de comparação de médias, ao nível de 5% de significância.

Tabela 6 - Produtividade de colmos por hectare, ATR e TAH na colheita da cana-planta em função de épocas de aplicação de reguladores de crescimento e adubação orgânica. Analândia/SP. Período de junho 2016 a junho 2017

Tratamento	TCH <i>t ha⁻¹</i>	ATR <i>kg t⁻¹</i>	TAH <i>t ha⁻¹</i>
1. Controle	109,76 b	117,69 a	12,76 b
2. Stimulate no sulco de plantio	129,93 a	117,09 a	15,22 a
3. Stimulate no quebra-lombo	114,69 ab	118,67 a	13,61 ab
4. Stimulate no crescimento final	117,96 ab	117,69 a	13,77 ab
5. Stimulate no plantio e no final	113,16 b	115,81 a	13,11 ab
6. Stimulate no plantio e no quebra lombo	112,89 b	122,31 a	13,83 ab
7. Stimulate no quebra-lombo e no final	115,74 ab	123,16 a	14,23 ab
8. Composto de torta de filtro	117,88 ab	116,31 a	13,70 ab
9. Composto de cama de frango	115,60 ab	114,18 a	13,18 ab
Média	116,18	118,06	13,71
C.V. (%)	6,6	5,4	8,4

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Silva (2010) define os reguladores vegetais ou biorreguladores como substâncias sintéticas, similares aos grupos de hormônios vegetais, que podem ser aplicadas diretamente nas plantas para alterar seus processos vitais e estruturais, com a finalidade de incrementar a produção, melhorar a qualidade e facilitar a colheita.

Segundo Silva (2010), em cana-planta, resultados de pesquisa demonstram que a aplicação desse regulador vegetal tanto no sulco de plantio quanto na parte aérea aumenta a produtividade de colmos de 6 a 21%, sendo a magnitude das respostas dependente das cultivares e dos ambientes de produção. Contrapondo o presente trabalho que obteve diferença estatística em produtividade frente ao controle, apenas na aplicação de Stimulate® em sulco de plantio.

Ferreira et al. (2013) estudando o uso de biorregulador aplicado no sulco de plantio em diferentes variedades, encontraram produtividades de 102,74 TCH para os tratamentos com biorreguladores e 95,45 TCH para os tratamentos sem biorreguladores.

Oliveira et al. (2013) estudando o uso de biorreguladores e condicionadores de solo concluíram que apenas o tratamento Agrolmin®, Regente® e Comet® apresentou diferença estatística significativa para produtividade e número de colmos

por metro, com $18,6 \text{ t ha}^{-1}$ em média de diferença para o segundo tratamento mais produtivo (controle), ou seja, uma diferença de 12,8%.

Rosetto et al. (2007) verificaram incrementos em produtividade com a aplicação do mesmo biorregulador na cultura da cana-de-açúcar. A aplicação na cana-planta teve uma produtividade 29% maior com o uso associado do Starter e Stimulate, em relação a testemunha, enquanto que na utilização de Stimulate isolado e Starter com Nitroplus também obtiveram aumentos significativos de 17%. O Starter com Stimulate aplicados na soqueira a produtividade média foi 26% maior que o controle, e a aplicação conjunta de Starter, Stimulate e Nitroplus e também de Starter isolado corresponderam a um incremento médio de 18% em produtividade.

Miguel et al. (2008) concluíram que a aplicação de Stimulate proporcionou um índice de lucratividade bem superior ao controle, com 26,22% para aplicação no tolete e 25,48% via foliar. A dose de 0,5 L/ha de Stimulate aplicado nos toletes conjugada aos tratamentos fitossanitários no plantio, resultou em maior produtividade e conseqüentemente maior índice de lucratividade.

De acordo com o observado por Silva et al. (2010), houve aumento da produtividade de colmos e de açúcar em soqueira, independentemente do genótipo, com o emprego do biorregulador Stimulate, com ou sem complementação de fertilizante líquido, o que indicou a possibilidade do aumento da longevidade dos canaviais.

Parâmetros biométrico como a altura, o diâmetro, o número de folhas, a massa e o número dos colmos, são afetados diretamente em condições de déficit hídrico (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; INMAN-BAMBER et al., 2008; SILVA et al., 2008;).

Os tratamentos com uso de compostos orgânicos apresentaram respostas iguais aos tratamentos com aplicação do biorregulador em sulco de plantio. Sendo assim, o uso de composto orgânico como condicionador de solo apresenta-se como uma alternativa a obtenção de maiores produtividades na cana-planta.

Resultados positivos na produtividade da cana-de-açúcar com o uso de condicionadores de solo também foram encontrados por Gullo (2007), Bolonhezi et al. (2007) e Bolonhezi et al. (2008).

Os benefícios dos condicionadores de solo, principalmente dos ácidos húmicos são vários, porém, alguns ainda não estão esclarecidos. Entre as

influências positivas que poderiam explicar o aumento da produtividade da cana-de-açúcar com o uso de condicionadores de solo estão o aumento do comprimento radicular (EVANS, 2000), uma maior eficiência na absorção de água, uma maior tolerância ao déficit hídrico, uma maior absorção de nutrientes como nitrogênio, fósforo, ferro e cobre, redução do Fe^{3+} em Fe^{2+} , entre outros (GULLO, 2007).

Quanto a produtividade industrial e as variáveis tecnológicas, o uso de Stimulate® no sulco de plantio, na dose de $0,5 \text{ L ha}^{-1}$, proporcionou um rendimento de 15,22 toneladas de açúcar por hectare (TAH), diferindo-se estatisticamente do tratamento controle, com rendimento de 12,76 TAH. Os demais tratamentos não diferiram entre si.

A quantidade de açúcar recuperada por tonelada (ATR) não apresentou diferença significativa, sendo uma média de $118,06 \text{ kg t}^{-1}$, com um coeficiente de variação de 5,4%.

Analisando-se as variáveis tecnológicas, não foi observada influência de nenhum dos tratamentos estudados sobre a resposta das variáveis (Tabela 3). O teor de fibra apresentou um valor médio de 10,03% com um coeficiente de variação de 4,4%, o Brix apresentou um valor médio de 16,35 °Brix e coeficiente de variação de 4,5%, o teor médio de Pol da Cana foi de 13,47% com um coeficiente de variação de 7% e o teor médio de açúcares redutores foi de 0,88% com um coeficiente de variação de 7,7%.

Ferreira et al. (2013) não observaram efeito significativo dos tratamentos sobre as características teor de sacarose, pureza, fibra e açúcar teórico recuperável. Bolonhezi et al. (2007) verificaram que o uso de substâncias húmicas não promoveu efeito significativo no teor de sacarose de cana-soca.

Da mesma forma, Rosato et al. (2010) verificaram que algumas variedades de cana-de-açúcar não responderam a substâncias húmicas para o teor de sacarose e para porcentagem de fibra. Silva et al. (2010) verificaram que o uso de Stimulate®, na dose de $0,5 \text{ L ha}^{-1}$, não proporcionou efeito nos parâmetros Pol da cana e ATR.

Tabela 7 - Variáveis tecnológicas na colheita da cana-planta em função de épocas de aplicação de reguladores de crescimento e adubação orgânica. Analândia/SP. Período de junho 2016 a junho 2017

Tratamento	Fibra %	Brix ° Brix	Pol %	AR %
Controle	10,04 a	16,26 a	13,11 a	0,88 a
Stimulate no sulco de plantio	10,09 a	16,30 a	13,00 a	0,89 a
Stimulate no quebra-lombo	9,87 a	16,34 a	13,66 a	0,87 a
Stimulate no crescimento final	9,88 a	16,23 a	13,12 a	0,87 a
Stimulate no plantio e no final	9,89 a	16,02 a	12,14 a	0,89 a
Stimulate no plantio e no quebra lombo	10,32 a	16,88 a	16,07 a	0,84 a
Stimulate no quebra-lombo e no final	10,34 a	17,01 a	16,50 a	0,84 a
Composto de torta de filtro	10,00 a	16,21 a	12,47 a	0,91 a
Composto de cama de frango	9,83 a	15,90 a	11,19 a	0,92 a
Média	10,03	16,35	13,47	0,88
C.V. (%)	4,4	4,5	7,0	7,7

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

De acordo com Oliveira et al. (2013), embora o uso do biorregulador não tenha proporcionado efeito no teor de Pol da cana e no ATR, os tratamentos Stimulate® e Stimulate®, Starter N® e Cellerate® resultaram maior TCH em relação ao tratamento controle. Para TPH, todos os tratamentos com a presença de Stimulate® resultaram em incremento nessa característica. Os autores observaram maior produtividade de colmos com o uso associado de Stimulate® e Starter® N, sem diferença significativa com os demais tratamentos biorreguladores, mas com produtividade 12,74 t ha⁻¹ significativamente maior que o tratamento controle.

Oliveira et al (2013), com o uso de Stimulate®, observou-se produtividade 24,98 TCH maior em comparação ao tratamento controle na variedade IAC91-2218, porém não se diferindo significativamente do tratamento Stimulate®, Starter N® e Cellerate®. Já as variedades IAC91-4216, IAC91-5155 e IACSP93-6006 apresentaram melhores resultados com o uso do tratamento Stimulate®, Starter N® e Cellerate®, sendo a diferença significativa em relação tratamento controle de 17,65, 22,56 e 13,06 TCH, respectivamente para cada variedade.

Os autores inferiram que os melhores resultados observados pela associação entre o biorregulador Stimulate®, o fertilizante foliar à base de nitrogênio Starter N® e o fertilizante Cellerate®, composto por P₂O₅ e molibdênio, tenham sido

resultantes do melhor aproveitamento da ação hormonal promovido pelo efeito benéfico do molibdênio no processamento endógeno do nitrogênio e no provável efeito sinérgico entre fósforo e molibdênio.

Os benefícios da aplicação do molibdênio via foliar em plantas superiores, como a cana-de-açúcar, resultam da maior atividade das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato, responsáveis pela catálise da fixação do nitrogênio atmosférico e da redução do nitrato, respectivamente (MALAVOLTA, 1980).

É possível que os efeitos positivos deste regulador vegetal sobre o desenvolvimento da cana-de-açúcar e consequente incremento na produtividade de colmos, sejam mais comuns em ambientes de produção “A ou B”, cujos solos são de maior fertilidade, principalmente com relação aos teores de cálcio e fósforo. Especula-se, deste modo, que as plantas tratadas via tolete, depois de assimilarem o estímulo inicial do regulador vegetal, encontram uma condição química do solo favorável ao bom desenvolvimento radicular, enquanto nos ambientes considerados estressantes, com teores de cálcio e fósforo baixos e a presença de alumínio tóxico, tem uma condição química do solo que dificulta o crescimento radicular. Assim, a planta tendo volume radicular limitado, absorve menos água e nutrientes, além de haver uma diminuição na síntese de citocininas, hormônios importantes para o crescimento da planta. Ou seja, é possível que os efeitos positivos dos biorreguladores sobre o desenvolvimento radicular sejam insuficientes para um maior crescimento radicular nos solos menos férteis com baixos teores de cálcio e fósforo.

Segundo Silva et al. (2010), os genótipos de cana-de-açúcar por eles estudados responderam diferentemente ao emprego de biorreguladores (Etephon e Stimulate®), associados ou não a fertilizantes foliares, em soqueira. A aplicação de Stimulate® e fertilizantes líquidos não proporcionou efeitos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Embora não tenham sido obtidos resultados significativos para as características de qualidade tecnológica de cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulante, muitos resultados com ganhos significativos são relatados nas pesquisas, como verificados por Bolonhezi et al. (2007a,b); Bolonhezi et al. (2008), Rosato et al. (2010) com o uso de condicionadores de solo isolados ou associados com adubos minerais (Gullo, 2007). Miguel et al. (2009)

verificaram o mesmo com o uso de bioestimulantes isolados, enquanto Rossetto et al. (2007) e Silva et al. (2010) encontraram resultados significativos com o uso de bioestimulantes associados com adubos foliares.

6.4. Teor de nutrientes

Quanto aos teores de nutrientes presentes na folha, não foi observado nenhuma diferença significativa dentre os teores de macro e micronutrientes, exceto para o teor de manganês (tabelas 8 e 9).

Tabela 8 - Teor de macronutrientes (g kg⁻¹) na colheita da cana-planta em função de épocas de aplicação de reguladores de crescimento e adubação orgânica. Analândia/SP. Período de junho 2016 a junho 2017

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g/kg -----					
Controle	17,32 a	1,66 a	11,32 a	4,48 a	3,50 a	4,40 a
Stimulate no sulco de plantio	17,76 a	1,62 a	11,50 a	4,48 a	3,36 a	4,52 a
Stimulate no quebra-lombo	17,70 a	1,62 a	12,10 a	4,62 a	3,42 a	4,84 a
Stimulate no crescimento final	17,82 a	1,60 a	11,12 a	4,44 a	3,24 a	4,10 a
Stimulate no plantio e no final	17,70 a	1,60 a	11,90 a	4,36 a	3,34 a	4,10 a
Stimulate no plantio e no quebra lombo	17,98 a	1,52 a	11,70 a	4,62 a	3,16 a	4,26 a
Stimulate no quebra-lombo e no final	18,02 a	1,62 a	10,92 a	4,74 a	3,46 a	4,40 a
Composto de torta de filtro	18,78 a	1,54 a	11,52 a	4,22 a	3,18 a	4,18 a
Composto de cama de frango	18,48 a	1,60 a	11,90 a	4,60 a	3,48 a	4,20 a
Média	17,95	1,59	11,55	4,50	3,34	4,33
C.V. (%)	6,6	6,9	8,3	11,5	8,0	12,5

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Os macro e micronutrientes desempenham função importante no desenvolvimento e na produtividade dos vegetais, os micronutrientes atuam nos processos enzimáticos das plantas. A aplicação de nutrientes em solução ou suspensão na parte aérea da planta, visando a corrigir possíveis deficiências nutricionais não atendidas pela adubação de base, vem a ser a adubação foliar (VITTI; MAZZA, 2002).

Tabela 9 - Teor de micronutrientes (mg kg⁻¹) na colheita da cana-planta em função de épocas de aplicação de reguladores de crescimento e adubação orgânica. Analândia/SP. Período de junho 2016 a junho 2017.

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg/kg -----				
Controle	17,24 a	8,29 a	100,54 a	41,82 ab	45,16 a
Stimulate no sulco de plantio	19,27 a	8,28 a	101,20 a	42,76 ab	44,32 a
Stimulate no quebra-lombo	19,08 a	7,82 a	103,50 a	41,32 ab	44,68 a
Stimulate no crescimento final	16,95 a	7,50 a	102,90 a	41,42 ab	45,04 a
Stimulate no plantio e no final	16,38 a	8,22 a	137,50 a	46,52 a	45,78 a
Stimulate no plantio e no quebra lombo	17,63 a	8,24 a	97,76 a	43,12 ab	45,38 a
Stimulate no quebra-lombo e no final	17,57 a	8,22 a	105,00 a	45,44 ab	45,18 a
Composto de torta de filtro	18,40 a	8,52 a	91,86 a	34,36 b	44,30 a
Composto de cama de frango	17,63 a	8,42 a	94,36 a	40,04 ab	47,78 a
Média	17,79	8,16	103,84	41,86	45,29
C.V. (%)	11,3	16,4	29,5	13,4	8,9

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Segundo Malavolta (1981) para a produção de 100 toneladas de colmos de cana-de-açúcar por hectare para a variedade SP 81-3250, são necessários as seguintes quantidades de micronutrientes: de 5300 g de Fe, 1500 g de Mn, 220 g de Zn, 130 g de B, 60 g de Cu e 1,6 g de Mo.

Vale et al. (2008) avaliaram os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn em 890 áreas cultivadas com cana-de-açúcar nas regiões de Ribeirão Preto e Catanduva, duas importantes regiões produtoras do Estado de São Paulo, e verificaram que a maioria das amostras analisadas apresentou teores foliares de B, Cu e Zn abaixo do nível crítico proposto por Orlando Filho et al. (1994).

A quantidade de nutrientes extraídos do solo e acumulados pelas plantas varia com a cultivar, manejo do solo, ciclo da cultura e dos nutrientes disponíveis para o desenvolvimento das plantas. Para os micronutrientes, o manganês, é o segundo mais extraído do solo pela cultura e a falta desse nutriente pode causar problemas na produtividade.

O manganês por ser o segundo micronutriente mais exigido pela cultura da cana-de-açúcar, atua na fotossíntese, sendo envolvido na estrutura, funcionamento e multiplicação de cloroplastos, também realiza o transporte eletrônico (VITTI;

OLIVEIRA; QUINTINO, 2006), é requerido para a atividade de algumas desidrogenases, descarboxilases, quinases, oxidases e peroxidases.

A adsorção de Mn^{2+} por matéria orgânica parece ser importante e foi demonstrada pela primeira vez por Heintze e Mann (1947), quando observaram que a extração do manganês era aumentada pelo uso de sais de cobre, zinco ou cobalto. Mais recentemente, usando métodos espectrofotométrico e polarográfico, Geering et al. (1969) determinaram que 93% do manganês em solução estava em forma complexada pela matéria orgânica.

Godo e Reisenauer (1980) citam que de maneira muito menos intensa que o cobre, contudo, o manganês parece associar-se, em certas condições, com ligantes orgânicos e que podem influir na absorção do elemento pelas raízes das plantas. Os autores encontraram que apesar da solubilidade do Mn^{2+} ter aumentado com a diminuição do pH, a absorção pela raiz diminuiu, sugerindo que os exsudatos orgânicos dela formam complexos com o Mn^{2+} em condições de campo.

Reações de adsorção entre o Mn^{2+} e minerais de argila ou por óxidos de ferro, de alumínio ou de manganês, parecem ter um papel de menor importância no controle do manganês na solução do solo. A fixação do manganês por illita e montmorilonita foi maior que para a caulinita e, para todas, ela foi função do pH e da quantidade de manganês adicionada. Eles sugerem mecanismos como precipitação, oxidação a valências maiores, aprisionamento físico ou forte adsorção nos lugares de troca (MALAVOLTA, 2006)

Apesar da importância do tema, poucos foram os trabalhos que avaliaram a extração e exportação de nutrientes em cana-de-açúcar, principalmente utilizando variedades recentemente disponibilizadas aos produtores (COLETI et al., 2006; MOURA FILHO, 2006; PRADO et al., 2002).

7. CONCLUSÕES

1. O tratamento Stimulate® no sulco de plantio teve o melhor desempenho de TCH diferenciando-se do tratamento controle, e em TAH foi o maior diferenciando-se dos demais tratamentos.
2. A aplicação de Stimulate® e compostos orgânicos não interferiram nos parâmetros tecnológicos.
3. Os tratamentos cama de frango e torta de filtro não se diferenciaram dos demais em produtividade.
4. A utilização do regulador de crescimento mostrou-se eficiente elucidando as características dessas substâncias como bioestimulantes, mas não foi possível correlacionar sua eficácia na atenuação do estresse hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, v. 61, p. 856-881, 2014.
- BEAUCLAIR, E. G. F.; OTAVIANO, J. A.; Malfato, C. A. Condicionador orgânico de solo no incremento da produtividade da cana-de-açúcar. Ribeirão Preto: **Idea News**, 2007.
- BEAUCLAIR, E.G.F. de; GULLO, M.J.M.; TOMAZ, H.V. de Q.; SCARPARI, M.S.; OTAVIANO, J.A. Uso de condicionador de solo a base de ácido húmico na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Stab Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.28, n.3, p.42-45, 2010.
- BOLONHEZI, A. C., FERNANDES, F. M., TEIXEIRA, E. B., SCHIMTZ, G. A. F., VALÉRIO FILHO, W. V. Substâncias húmicas aplicadas no sulco de plantio de duas variedades de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 7, 2007, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: UFSC, 2007a. p. 70.
- BOLONHEZI, A. C., FERNANDES, F. M., TEIXEIRA, E. B., SCHIMTZ, G. A. F. Modos de aplicação de substâncias húmicas em soqueiras de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 7, 2007, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: UFSC, 2007b. p. 71.
- BOLONHEZI, A. C., FERNANDES, F. M., TEIXEIRA, E. B., VALÉRIO FILHO, W. V., SCHIMTZ, G. A. F. Ácidos húmicos e fúlvicos aplicados no sulco de plantio de cana-de-açúcar em solo de cerrado. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 9, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB/Gráfica, 2008. p. 559-564.
- BOLONHEZI, A.C.; FERREIRA, M.M.R.; FERREIRA, L.H.Z. Substâncias húmicas no sulco de plantio em variedades de cana-de-açúcar. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 22, n. 1, p.125-131, 2013.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.
- BROWN P., SAA S. Biostimulants in agriculture. *Front. Plant Sci.* 6:671, 2015.
- CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. cap.3, p. 31-64.
- CAMILI, E.C. **Ação de bioreguladores na brotação, produção e algumas características físico-químicas de uva do cultivar superior Seedless**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2007. 206p. Tese de Doutorado em Agronomia.

CANELLAS, L. P.; ZANDONADI, D. B.; OLIVARES, F. L.; FAÇANHA, A. R. Efeitos fisiológicos de substâncias húmicas - o estímulo às H⁺-ATPases. In: **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

CARON, V.C.; GRAÇAS, J.P.; CASTRO, P.R.C. **Condicionadores do solo**: ácidos húmicos e fúlvicos. Série Produtor Rural, n.58. USP: Piracicaba, 2015. 48p.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 132 p.

CASTRO, P.R.C. **Agroquímicos de controle hormonal na agricultura tropical**. Piracicaba: ESALQ. 2006. 46p.

CASTRO, P.R.C. et al. Ação comparada de Ethrel, Fuzilade e Glifosato, em duas épocas de aplicação, na maturação e produtividade da cana-de-açúcar, variedade SP 70-1143. **Revista de Agricultura**, v.77, n.1, p.23-38, 2002.

CASTRO, P.R.C.; SERCILOTO, C. M.; PEREIRA, M. A.; RODRIGUES, J. L. M. ROSSI, G. **Agroquímicos de controle hormonal, fosfatos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical**. Piracicaba: ESALQ – Divisão de biblioteca e documentação, 2009. 89p.

CASTRO, P.R.C.; SERRA, G.E.; RUGAI, S.; ORLANDO Fº, J.; NASCIMENTO Fº, V.F.; SOUSA, J.A.G.C. Efeitos de reguladores de crescimento no enraizamento e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar cultivar Co 740. Supl. **Ciência e Cultura** 27 (7): 627, 1975.

COLETI, J. T. *et al.* Remoção de macronutrientes pela cana planta e cana soca, em argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **Revista STAB**, v. 24, n. 05, p. 32-36, 2006.

COLETI, J.T. Técnica cultural de plantio, In: PARANHOS, S.B.(Coord.). **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, Cap. 3, p. 284-328. 1987.

COLL, J. B.; RODRIGO, G. N.; GARCIA, B. S. TAMÉS, R. S. Citoquininas. In: COLL, J. B.; RODRIGO, G. N.; GARCIA, B. S.; TAMES, R. S. (Eds). **Fisiología Vegetal**. Ediciones Pirámide, Madrid, España, p. 342-355, 2001.

COSTA, N. de L. **Bioestimulante como fator de produtividade da cana-de-açúcar**. 2010.

DAVIES, P. J. **Plant hormones**: biosynthesis, signal transduction, action. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 750 p. 2004.

DIAS, F. L. F.; TAVARES, S.; ÁVILA, M. D.; GIRIO, L. A. S.; SOUSA, G. S. S.; et al. Avaliação de Biozyme e Pilatus em soqueira de cana. **Anais VIII workshop agroenergia: matérias primas**. Ribeirão Preto, 2014.

DILLEWIJN, C. Van **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 371 p. 1952.

DINNENY J.R., LONG T.A., WANG J.Y., JUNG J.W., MACE D., POINTER S., BARRON C., BRADY S.M., SCHIEFELBEIN J. & BENFEY P.N. Cell identity mediates the response of Arabidopsis roots to abiotic stress. **Science** 320, 942–945, 2008.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. Eds.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool - tecnologia e perspectivas**. Viçosa: UFV, 2010. p.24-49.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33). Tradução de H. R. Gheyi; A. A. de Sousa; F. A. V. Damasceno; J. F. de Medeiros.

DOURADO NETO, D. et al. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia, Uruguiana**, v. 11, n. 1, p. 93-102, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ESPIRONELLO, A.; van RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 237-239.

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

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In... REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000. **Anais...** São Carlos, SP: SIB, p. 255-258, 2000.

FERREIRA, M. M. R.; FERREIRA L. H. Z.; BOLONHEZI, A. C. **Reguladores vegetais aplicados no sulco de plantio em cultivares de cana -de-açúcar**. Curitiba: Scientia Agraria, v.14, n.2, p.59-64, Mar/Ago 2013.

FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, v.66, p.699-674, 2007.

GEERING, H.R.; HODGSON, J.F.; SDANO, C. Micronutrient cation complexes in soil solution. IV. The chemical state of manganese in soil solution. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **33**:81-5, 1969.

GODO, G.H; REISENAUER, H.M. Plant effects on soil manganese availability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 44:993-5, 1980.

GULLO, M. J. M. **Uso de condicionadores de solo a base de ácido húmico na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2007. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H. SCHJOERRING, J.; SKRUMSAGER, M.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Australia: The University of Adelaide, Elsevier, 2012. p. 135-188.

HEINTZE, S.G. & MANN, P.J.G. Soluble complexes of manganic manganese. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, **37**:23-6, 1947.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.13-26, 2008.

INMAN-BAMBER, N.G.; McGLINCHEY, M.G. Crop coefficients and water use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, v.83, p.125-138, 2003.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.

KHAN W., RAYIRATH U. P., SUBRAMANIAN S., JITHESH M. N., RAYORATH P., HODGES D. M., ET AL. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **J. Plant Growth Regul.** 28, 386–399, 2009.

KIEHL, J.E. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 492 p., 1985.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: com um estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 478 p., 1948.

LANDELL, M. G. A. Cana para a Indústria: Os rumos da pesquisa. **Agroanalysis**, p. 6-8, 2014.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; VASCONCELOS, A. C. M.; XAVIER, M. A.; BIDOIA, M. A.; PRADO, H.; SILVA, M. A.; MIRANDA, L. L. D.; SANTOS, A. S.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, D. N.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P. B.; KANTHACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; ANJOS, I. A.; AZANIA, C. A. M.; PINTO, L. R.; SOUZA, S. A. C. D. Variedades de

cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 15ª liberação do programa cana IAC (1959-2005). Série Tecnologia APTA, **Boletim técnico IAC**, 197, Campinas: IAC, 2005. 33p.

LANDELL, M.G.A.; SILVA, M.A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v.1, p.18-23, 2004.

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

LIU J-X, HOWELL SH Transcription factors are activated by ER stress and assemble into a transcriptional complex to regulate stress response genes in Arabisopsis. **Plant Cell** 22:782-796, 2010.

MACEDO, W. R.; CASTRO, P. R. de C. Biorreguladores, bioestimulantes e bioativadores na agricultura tropical. In **Avanços Tecnológicos Aplicados à Pesquisa na Produção Vegetal**. Viçosa. 2015.

MACHADO, E.C. Fisiologia da produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar**: Cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill. v. 1, cap. 1, p. 56-87, 1987.

MACHADO, E.C., PEREIRA, A.R., FAHL, J.I. et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesq Agropec Bras**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006, p. 638.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Relação de instituições cadastradas no departamento de cana-de-açúcar e agroenergia** Brasília: MAPA, 2017.

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

MIGUEL, F. B.; DA SILVA J. A. A.; BARBARO I. M.; ESPERANCINI M. S. T.; TICELI, M.; COSTA, A. G. F. Viabilidade econômica na utilização de um regulador vegetal em cana-planta científico. São Paulo: **Informações Econômicas**, v.39, n.1, jan. 2009.

MOURA FILHO, G. Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar. In: Seminário Alagoano sobre Variedades de Cana-de-açúcar. Maceió, **Anais ...** Maceió: STAB. 1 CD-ROM, 2006.

NARDINI A, SALLEO S. JANSEN S; More than just a vulnerable pipeline: xylem physiology in the light of ion-mediated regulation of plant water transport. **J Exp Bot** 62:4701-4718, 2011.

OLIVEIRA, C.P., ALVAREZ, F. C. R., LIMA, F. S., CONTARDI, M. L. **Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes**. Revista Agrarian, Dourados, v.6, n.21, p.245-251, 2013.

OLIVEIRA, T. C. **Densidade de plantio e manejo da adubação em cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas**. 2016. 126 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja doutor do seu canavial. **Informações Agronômicas**. Piracicaba: POTAFÓS, n. 67, p.1-16, encarte, 1994.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. 2007, 116 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

PARENT B., HACHEZ C., REDONDO E., SIMONNEAU T., CHAUMONT F., TARDIEU F. Drought and abscisic acid effects on aquaporin content translate into changes in hydraulic conductivity and leaf growth rate: a trans-scale approach. **Plant Physiol.** 149 2000–2012, 2009.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brazil. *Turrialba*, 35:131-139, 1985.

PINHEIRO, C; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal Experimental Botany**. v.62: p.869-882, 2011.

PRADO, R. de M; FERNADES, F. M; NATALE, W. Calcário e Escória siderúrgica, avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 01, p. 129-135, 2002.

RAVEN, P.H., EVERT, R.F., EICHHORN, S.E. A composição molecular das células vegetais. In: Raven P.H.; Evert R. F. and Eichhorn S.E. (orgs). **Biologia Vegetal**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 17-39. 2001.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v. 43, p. 131-167, 1997.

RIDESA. **Catálogo Nacional de Variedade (RB) República Brasil**, Curitiba, 2010; 64p.

RODRIGUES, T. de J. D.; LEITE, I. C. **Fisiologia Vegetal: Hormônio das Plantas**. Jaboticabal: Funep, 78 p., 2004.

RODRIGUES, J. D. Biorreguladores, aminoácidos e extratos de algas: verdades e mitos. International Plant Nutrition Institute (INPI). **Jornal Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 122, p. 15-17, 2008.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.1, p.133-137, 1998.

ROSATO, M. M.; BOLONHEZI, A. C.; FERREIRA, L. H. Z. Substâncias húmicas sobre a qualidade tecnológica de variedades de cana-de-açúcar. **Scientia Agraria**, v.11, n.1, p. 43-48, 2010.

ROSSETTO, R. et al. Efeito de biorregulador e de fertilizantes aplicados no plantio da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FIOLOGIA VEGETAL, Gramado, RS. **Resumo...** Gramado: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2007.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A O. (editores). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. Genesis, Porto Alegre, Brasil. 508 p. 1999.

SARTO, M. D. et al. ácidos húmicos e fúlvicos aplicados no sulco de plantio de variedades de cana-de-açúcar em solo de cerrado. In: Congresso de Iniciação Científica, 21., 2009, Ilha Solteira. **Anais**. Ilha Solteira: Unesp, 2009.p. 00519–00523.

SCHNITZER, M. KHAN, S. U. (Ed.). **Soil organic matter**. Amsterdam: Elsevier, 319 p. (Developments in Soil Science, 8), 1978.

SILVA, M. A. Biorreguladores: nova tecnologia para maior produtividade e longevidade do canavial. **Pesquisa & Tecnologia**. V. 7, n. 2, jul./dez. 2010.

SILVA, M. de A.; GAVA, G.J. de C.; CAPUTO, M.M.; PINCELLI, R.P.; JERÔNIMO, E.M.; CRUZ, J.C.S. Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. **Bragantia**, v.66, p.545-552, 2007.

SILVA, M. de A.; SOARES, R.A.B.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v.67, p.656-661, 2008.

SILVA, W. P.; SILVA, V. G. F.; ALMEIDA, C. D. G. C. Produtividade da cana-de-açúcar sob diferentes formas de adubação. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 10, 2010, Recife. **Resumos...** Recife: UFRPE, 2010.

SKINNER, J.C. Grading varieties for selection. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 12., 1965, San Juan. **Proceedings**. Amsterdam: International Society of Sugar Cane Technologists, p.938-949. 1967.

SKIRYCZ A., INZÉ D. More from less: Plant growth under limited water. **Curr. Opin. Biotechnol.** 21: 197–203, 2010.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I.M., MURPHY, A. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 858 p., 2017.

TANG, AN-CHING; JOHN S. BOYER; Xylem tension affects growth-induced water potential and daily elongation of maize leaves, **Journal of Experimental Botany** , Volume 59, Issue 4, 1 March, Pages 753–764, 2008.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JR, L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agricola**, v. 54, n. spe, p. 39-44, 1997.

União da Indústria de Cana-de-açúcar (ÚNICA). **Levantamento safra 2016/17**. Disponível em:<<http://www.unicadata.com.br/>>,2017.

VALE, F.; ARAUJO, M.A.G.; VITTI G.C. Avaliação do estado nutricional dos micronutrientes em áreas com cana-de-açúcar. In: FERTBIO, 2008, Londrina. **Anais...** 1 CD-ROM. 2008.

VIEIRA, E.L.; CASTRO, P.R.C. Bioestimulante como fator de Produtividade de Cana-da-açúcar (*Glycine max* (L.) Merrill). Cosmópolis: Stoller do Brasil, 74p., 2004.

VITTI, A. C.; ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; NAJIM, H. M.; DIAS, F. L. F.; TEIXEIRA, R. R. Eficiência agrônômica da adubação da cana planta com fonte complementar organomineral. In: **Anais...** II Simpósio Científico dos Pós-graduandos do CENA-USP, Piracicaba, 2009.

VITTI, G. C.; OLIVEIRA, D. B.; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, p. 121-138., 2006.

VITTI, G. C; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, n.97, p. 1-16, 2002.

YAKHIN O. I., LUBYANOV A. A., YAKHIN I. A. Physiological activity and efficiency of application of biostimulants. **Agrokhimya** 6, 72–94, 2016.

ZILIANI, R. R. **Influência de biorreguladores sobre a fisiologia e crescimento inicial de cana-de-açúcar submetida ao déficit hídrico**. 2015, 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade do Oeste Paulista. Presidente Prudente, São Paulo. 2015.

APÊNDICES

APENDICE A - Início da brotação 20 DAP

APENDICE B - Área experimental aos 70 DAP

APÊNDICE C – Aplicação Stimulate Quebra-lombo 148 DAP

APÊNDICE D - Área experimental aos 148 DAP

APÊNDICE E – Área experimental 240 DAP

APÊNDICE F – Porte da planta aos 240 DAP

APÊNDICE G – Avaliações biométricas: comprimento e diâmetro de colmo 370 DAP

APÊNDICE H – Pesagem da parcela 370 DAP

APÊNDICE J – Porte da planta na colheita 370 DAP