

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES, NA CANA-DE-
AÇÚCAR, NO PERÍODO DE OUTONO E REFLEXOS SOBRE
O PROCESSO FERMENTATIVO**

Michel José Piemonte

Engenheiro Florestal

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES, NA CANA-DE-
AÇÚCAR, NO PERÍODO DE OUTONO E REFLEXOS SOBRE
O PROCESSO FERMENTATIVO**

Michel José Piemonte

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Microbiologia Agropecuária.

2022

P613a Piemonte, Michel José
Aplicação foliar de nutrientes, na cana-de-açúcar, no período de outono e reflexos sobre o processo fermentativo / Michel José Piemonte. -- Jaboticabal, 2022
87 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,

1. Adubação foliar. 2. Adubos e fertilizantes líquidos. 3. Bioetanol. 4. Matéria-prima. 5. Nutrição das plantas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

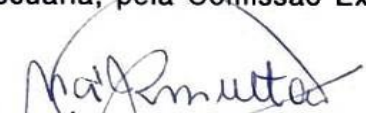
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES, NA CANA-DE-AÇÚCAR, NO PERÍODO DE OUTONO E REFLEXOS SOBRE O PROCESSO FERMENTATIVO.

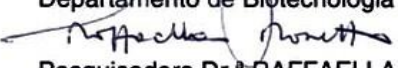
AUTOR: MICHEL JOSÉ PIEMONTE

ORIENTADORA: MÁRCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON

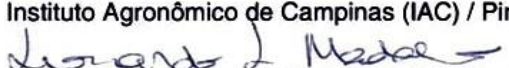
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Microbiologia Agropecuária, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. MÁRCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON (Participação Presencial)
Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental / FCAV UNESP Jaboticabal



Pesquisadora Dr.^a RAFFAELLA ROSSETTO (Participação Presencial)
Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) / Piracicaba/SP



Prof. LEONARDO LUCAS MADALENO (Participação Presencial)
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC - Jaboticabal/SP

Jaboticabal, 03 de outubro de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MICHEL JOSÉ PIEMONTE – Nasceu aos 20 de janeiro de 1983, no município de Americana, estado de São Paulo. Em 2005 ingressou no curso de Engenharia Florestal na Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva, recebendo o título de Engenheiro Florestal em 2008. Em março de 2020 ingressou na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV/Unesp, Câmpus de Jaboticabal/SP, no Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária em nível de Mestrado Acadêmico.

Epígrafe

Nossa maior fraqueza está em desistir. O
caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.

- *Thomas Edison*

**A minha esposa pela amizade, carinho
e companheirismo ao longo desta
caminhada.**

**Ao meu amado filho por ser a luz da
minha vida.**

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me concedeu o privilégio de nascer e viver entre pessoas sensacionais que são o alicerce desta conquista;

A minha esposa pelo carinho, incentivo, credibilidade e compreensão nas horas mais difíceis;

À prof. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton, orientadora desta dissertação, pela confiança em meu trabalho, pela acolhida, por todo o conhecimento transferido, pela sabedoria e amizade;

Aos membros da banca examinadora pela participação e considerações;

Ao Programa de Microbiologia Agropecuária - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV/UNESP) pela oportunidade de realização do curso e aprimoramento profissional;

A todos do Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool, pelos bons momentos de aprendizado, de alegria e pela colaboração;

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a concretização desse estudo;

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.).....	4
2.2 Fermentação alcoólica.....	6
2.3 Qualidade da cana-de-açúcar.....	8
2.4 Maturação da cana-de-açúcar.....	9
2.5 Papel dos nutrientes na cana-de-açúcar.....	12
2.6 Absorção de nutrientes.....	15
2.6.1 Absorção de nutrientes via radicular.....	16
2.6.2 Absorção de nutrientes via foliar.....	17
2.7 Mobilidade dos nutrientes.....	17
2.7.1 Mobilidade no solo.....	18
2.7.2 Mobilidade nas plantas.....	19
2.8 Adubação foliar.....	21
2.8.1 Fatores que influenciam na absorção foliar.....	22

3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Localização do experimento	25
3.2 Instalação do experimento	25
3.3 Condições meteorológicas da área do experimento	27
3.4 Colheita da cana-de-açúcar	29
3.5 Extração e clarificação do caldo da cana	29
3.5 Avaliação das Características Tecnológicas dos Caldos Extraídos e Clarificados	29
3.6 Preparo do Mosto e Condução do Processo Fermentativo	30
3.7 Análises microbiológicas da fermentação	30
3.8 Avaliação das Características Tecnológicas do Vinho	31
3.9 Análise do destilado	31
3.10 Avaliação da Eficiência Fermentativa	31
3.11 Análise Estatística.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Caldo extraído	32
4.2 Caldo clarificado.....	41
4.3 Mosto	47
4.4 Processo Fermentativo	49
4.5 Análises dos Vinhos	51
5. CONCLUSÕES	56

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
---	-----------

APLICAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES, NA CANA-DE-AÇÚCAR, NO PERÍODO DE OUTONO E REFLEXOS SOBRE O PROCESSO FERMENTATIVO

RESUMO - As eficiências e rendimentos do processamento agroindustrial são diretamente prejudicados à medida que as condições climáticas se tornam adversas. Nas usinas, o custo de produção do etanol e sua viabilidade econômica estão intimamente relacionados com a quantidade de açúcares presentes nos colmos enviados para processamento. Sendo assim, a utilização de um programa de manejo nutricional complementar na época da pré-seca pode favorecer um bom desempenho da planta mesmo em períodos de estresse, garantindo que a qualidade da matéria-prima não sofra grandes danos. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar os reflexos da incorporação de Complexo Nutricional para Seca via foliar, associado ou não ao Boro, sobre a microbiota fermentadora, qualidade do vinho e eficiência fermentativa do etanol. O delineamento foi inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 5 repetições por faixa. Os tratamentos foram constituídos por Testemunha e Complexo Nutricional para Seca (CNS - 1% N; 6% P₂O₅; 6% K₂O; 2% Mg; 2,5% S e 1,6% de aminoácidos) nas doses de 3, 6 e 9 L.ha⁻¹ e 6 L.ha⁻¹ de CNS associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro (ácido bórico à 10%). Foram realizadas análises químico-tecnológicas no caldo extraído, caldo clarificado, mosto, vinho, análises microbiológicas no início e no final do processo fermentativo e cálculos para determinação da eficiência fermentativa. A utilização de 6 L.ha⁻¹ de CNS em associação à 2 L.ha⁻¹ de Boro permitiu a obtenção de incremento de 11,34% no teor alcoólico e 9,45% na eficiência fermentativa em relação à testemunha.

Palavras-Chave: Adubação foliar, Adubos e fertilizantes líquidos, Bioetanol, Matéria-prima, Nutrição das plantas.

FOLIAR APPLICATION OF NUTRIENTS IN SUGARCANE IN THE AUTUMN PERIOD AND REFLECTIONS ON THE FERMENTATION PROCESS

ABSTRACT - The efficiencies and yields of agro-industrial processing are directly impaired as weather conditions become adverse. In mills, the cost of producing ethanol and its economic viability are closely related to the amount of sugar present in the stalks sent for processing. Therefore, the use of a complementary nutritional management program in the pre-drought period can favor a good performance of the plant even in periods of stress, ensuring that the quality of the raw material does not suffer great damage. In this context, the objective of this work was to evaluate the reflexes of the incorporation of Nutritional Complex for Dry via foliar, associated or not with Boron, on the fermenting microbiota, wine quality and fermentation efficiency of ethanol. The design was completely randomized, with 5 treatments and 5 repetitions per lane. The treatments consisted of Control and Nutritional Complex for Drought (CNS - 1% N; 6% P_2O_5 ; 6% K_2O ; 2% Mg; 2.5% S and 1.6% amino acids) at doses of 3, 6 and 9 $L\cdot ha^{-1}$ and 6 $L\cdot ha^{-1}$ of CNS associated with 2 $L\cdot ha^{-1}$ of Boron (10% boric acid). Chemical-technological analyzes were carried out on the juice extracted, clarified juice, must, wine, microbiological analyzes at the beginning and end of the fermentation process and calculations to determine the fermentation efficiency. The use of 6 $L\cdot ha^{-1}$ of CNS in association with 2 $L\cdot ha^{-1}$ of Boron allowed obtaining an increase of 11.34% in alcohol content and 9.45% in fermentation efficiency in relation to the control.

Keywords: Alcoholic fermentation, Fermentation efficiency, Nutrition via foliar, Plant nutrition, Raw material quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Detalhes das partes constituintes do colmo da cana-de-açúcar. Fonte: Elaboração própria.	5
Figura 02 - Esquema da etapa de glicólise. Fonte: http://www.sobiologia.com.br/conteudos/bioquimica/bioquimica3.php	6
Figura 03 - Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Fonte: Adaptado de Gascho e Shih (1983).	10
Figura 04 - Absorção de nutrientes via radicular. (Fonte: https://sqm-vitas.com.br/nutricao/absorcao-de-nutrientes/).....	16
Figura 05 - Local ideal para adubação no solo de acordo com a mobilidade do nutriente. Fonte: https://sqm-vitas.com.br/nutricao/mobilidade-dos-nutrientes/	19
Figura 06 – Esquema da distribuição de nutrientes absorvidos pelas folhas para as outras partes da planta. Fonte: https://sqm-vitas.com.br/nutricao/mobilidade-dos-nutrientes/	20
Figura 07 - Mapa da área utilizada na Fazenda Santa Elisa para a implantação do experimento na cidade de Araraquara–SP (safra 2020/2021), com destaque para o talhão escolhido.	26
Figura 08 - Croqui da área utilizada na Fazenda Santa Elisa para a implantação do experimento na cidade de Araraquara–SP (safra 2020/2021), com destaque para os tratamentos realizados.	27
Figura 09 - Horas de luz solar em Araraquara-SP durante os meses de janeiro à dezembro de 2020. Fonte: Weather Spark (2022).	28
Figura 10 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Brix do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	32
Figura 11 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores totais do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	33
Figura 12 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	34

Figura 13 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pol do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.....	35
Figura 14 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pureza do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.....	36
Figura 15 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pH do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	37
Figura 16 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para acidez total do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021....	38
Figura 17 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para amido do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.....	39
Figura 18 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para compostos fenólicos totais do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	41
Figura 19 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para brix do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.....	42
Figura 20 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores totais do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	43
Figura 21 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pol do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.....	43
Figura 22 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pureza do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	44
Figura 23 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pH do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.....	44
Figura 24 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para acidez total do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	45
Figura 25 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para amido do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.....	46
Figura 26 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para compostos fenólicos totais do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	46

Figura 27 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores totais do mosto. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	47
Figura 28 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para acidez total do mosto. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	48
Figura 29 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para análises microbiológicas iniciais do processo fermentativo. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	49
Figura 30 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para análises microbiológicas finais do processo fermentativo. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	50
Figura 31 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores residuais totais do vinho. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	52
Figura 32 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para glicerol do vinho. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	53
Figura 33 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para teor alcoólico do vinho. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	54
Figura 34 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para eficiência fermentativa do vinho. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Nutrientes e suas funções no metabolismo da cana-de-açúcar.	14
Tabela 02 - Fases da absorção de nutrientes.....	17
Tabela 03 – Mobilidade de nutrientes no solo.....	18
Tabela 04 – Mobilidade de nutrientes na planta.	19
Tabela 05 - Tratamentos e doses utilizadas para implantação do experimento na cidade de Araraquara–SP (safra 2020/2021).....	26
Tabela 06 - Dados de clima e tempo para Araraquara-SP durante os meses de janeiro a outubro de 2020. Elaborado com os dados coletados em Free Meteo (2022) e DAAE Araraquara (2022).....	28

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, mesmo diante das dificuldades encontradas no cenário econômico brasileiro, o agronegócio vem se consolidando como um dos destaques da economia do país. Um dos segmentos de maior importância no setor é o cultivo da cana-de-açúcar.

Com o crescimento da área plantada e a evolução do setor, o Brasil consolidou-se como o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Estima-se que o país produzirá na safra de 2022/2023 cerca de 596.066,26 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, das quais 299.184,92 milhões deverão ser utilizadas para produção de etanol em usinas e destilarias (CONAB, 2022).

Apesar disto, a produtividade média agrícola das últimas safras pouco tem progredido, passando por período de estagnação e com resultados aquém do potencial genético produtivo das variedades cultivadas no país. Neste sentido, diversas pesquisas vêm sendo realizadas e novas práticas no manejo da cana-de-açúcar estão sendo testadas, de forma a recuperar a qualidade da lavoura e atingir elevados índices de produtividade. Para isso, é imprescindível que conhecimento das fases de desenvolvimento da cultura esteja associado a novas técnicas de cultivo, de modo a melhorar a produtividade e possibilitar a obtenção de um produto de alta qualidade tecnológica (HERVATIN, 2018; PRADO FILHO, 2019).

Ao longo do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, a planta atravessa quatro estágios fenológicos: 1) brotação e emergência, 2) perfilhamento e estabelecimento da cultura, 3) período de máximo crescimento vegetativo e, por fim, 4) maturação (CÂMARA e OLIVEIRA, 1993). Dentre esses, a fase de maturação da

cultura tem significativa importância agrônômica e industrial, pois é o período no qual ocorre a maior concentração do açúcar (MUTTON, 1993).

Diversos fatores interferem no processo fisiológico de acúmulo de sacarose, tais como: as características genéticas das variedades, o balanço nutricional e as condições climáticas (baixas temperaturas e disponibilidade hídrica), as quais reduzem o metabolismo de crescimento da planta e favorecem os processos de acúmulo de sacarose. Contudo, apesar de ser necessário que a planta passe por período de estresse para que a maturação ocorra, a eficiência e o rendimento do processamento agroindustrial podem ser prejudicados à medida que as condições climáticas se tornam mais adversas (ALEXANDER, 1973; MACHADO, 1987; ANDRADE e CARDOSO, 2004; CARDOZO *et al.*, 2015).

A disponibilidade de nutrientes pode influenciar a taxa de fotossíntese líquida através da atuação como ativadores ou constituintes de enzimas. Dessa forma, o fornecimento por via foliar de um conjunto de macro e micronutrientes pode incrementar a eficiência fotossintética e aumentar a síntese, o transporte e o acúmulo de sacarose (LEITE *et al.*, 2015; MARANGONI, 2016; HERVATIN, 2018). Isto leva à redução da quantidade de ácidos orgânicos, amido e compostos fenólicos totais presentes no colmo, possibilitando a industrialização de uma matéria-prima de elevada qualidade tecnológica (MUTTON, 1993).

Portanto, a utilização de um programa de manejo nutricional no início do período de estresse hídrico pode oferecer os elementos necessários para o desenvolvimento da cultura, visando maior eficiência no armazenamento de sacarose nas células de reserva da planta.

Desse modo, ao nutrir os canaviais durante a seca objetiva-se obter por ocasião da colheita dos colmos, uma matéria-prima de maior qualidade que proporcione maior produtividade industrial. Em vista disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação foliar de um complexo nutricional para seca na cultura sobre a microbiota fermentadora, qualidade do vinho e eficiência fermentativa do etanol produzido a partir de cana-de-açúcar do final de safra.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta de clima tropical originária da região entre Nova Guiné e Indonésia, pertencente à família *Poaceae* (JAMES, 2004; MAY e RAMOS, 2019; RODRIGUES e ROSS, 2020). É amplamente cultivada na Ásia e na América Latina, tendo o Brasil como o principal produtor mundial (LEITE *et al.*, 2018; FAO, 2022).

Na forma natural é considerada planta perene, assumindo ciclo semi-perene quando em condições de cultivo extensivo (OLIVEIRA, 2016). Além disso, pode atingir de 2 a 4 metros de altura (ELSHARIF e ABU-NASER, 2019), desenvolvendo-se em temperaturas de 20 a 38°C (BACCHI, 1985). Apresenta parte aérea e parte subterrânea, em que a porção aérea é constituída por caule, folhas e flores, enquanto a região subterrânea inclui raízes e rizomas (SZMRECSÁNYI, 1979; RODRIGUES e ROSS, 2020).

O caule é do tipo colmo, sendo dotado de nós e entrenós cilíndricos (Figura 01). Desse modo, a gema apical se situa no ápice da planta, enquanto as gemas laterais encontram-se situadas alternadamente nos nós, sendo estas estruturas capazes de formar novos colmos através da propagação vegetativa (AUDE, 1993; OLIVEIRA, 2016).

Outra característica importante da cana-de-açúcar é o crescimento em forma de touceira, ou seja, vários colmos se desenvolvem muito próximos entre si, formando um tufo espesso (moita) (SZMRECSÁNYI, 1979; RODRIGUES, 1995; HERLING e PEREIRA, 2016). Assim, as touceiras que chegam na idade de corte apresentam colmos uniformes em coloração, tamanho e diâmetro, possuindo cerca de 16 a 22

entrenós. Nesta época, aproximadamente de 70% de seu sistema radicular encontra-se nos primeiros 50 cm do solo, podendo haver a presença de raízes que podem atingir profundidades superiores à 1,5 metros (SILVA e SILVA, 2012).

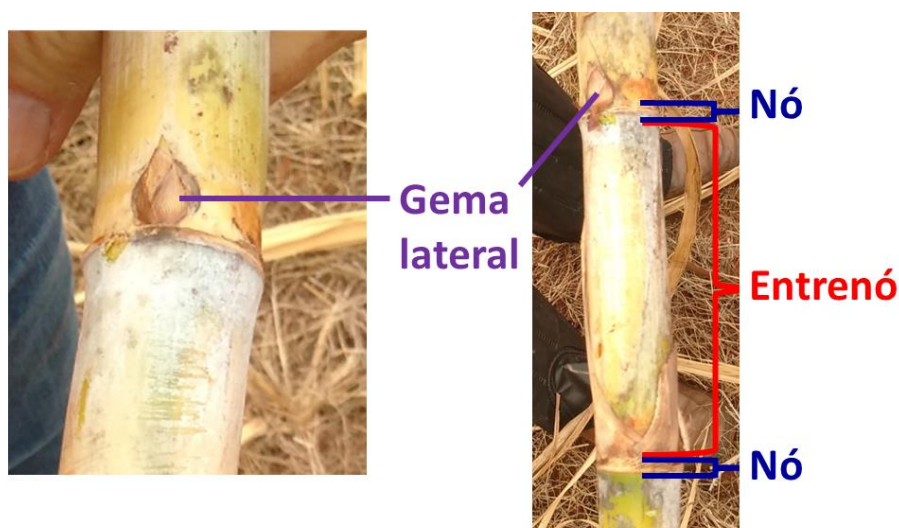


Figura 01 - Detalhes das partes constituintes do colmo da cana-de-açúcar. Fonte: Elaboração própria.

Devido à presença do aparato fotossintético de ciclo C4, a cana-de-açúcar exibe alta versatilidade, sendo considerada a cultura mais eficiente na produção de biomassa por unidade de área em regiões tropicais. Sendo assim, a importância configura-se principalmente na habilidade de converter a energia luminosa em energia química e, dessa maneira, armazená-la em células de reserva (SILVA e SILVA, 2012; HUANG, LONG e SINGH, 2016).

Deste modo, a principal finalidade do cultivo da cana-de-açúcar é a produção de sacarose, visando sua extração juntamente com o caldo para ser empregada na produção de açúcar e de etanol (AUDE, 1993).

2.2 Fermentação alcoólica

No Brasil, como mencionado anteriormente, a produção de etanol é feita a partir do uso da cana-de-açúcar como principal matéria-prima. Assim, caldo rico em sacarose e outros açúcares, é empregado para a realização do processo fermentativo. Comumente, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é o microrganismo mais empregado para a produção de etanol devido à sua eficiência em assimilar os açúcares fermentescíveis (YOKOYA,1991; LIMA, 2012; GÓES-FAVONI et al., 2018).

A fermentação é processo anaeróbico que compreende um conjunto de reações enzimáticas, as quais transformarão uma molécula orgânica em compostos mais simples. A glicose é uma das substâncias mais empregadas pelos microrganismos como ponto de partida em uma fermentação. Desta forma, a sacarose presente no caldo da cana-de-açúcar é inicialmente quebrada pela ação de enzima invertase produzida pela própria levedura, para que possa então entrar na etapa de glicólise (PAOLIELLO, 2006).

Assim, a glicólise corresponde ao desdobramento das moléculas de glicose em duas moléculas de ácido pirúvico (Figura 02).

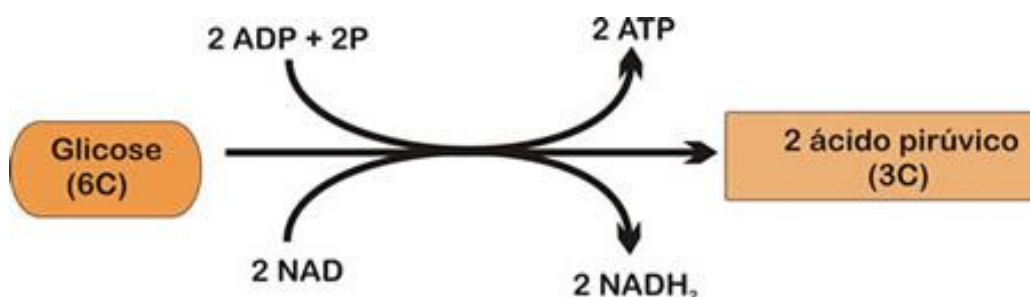


Figura 02 - Esquema da etapa de glicólise. Fonte: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/bioquimica/bioquimica3.php>.

Esta etapa é dividida em duas fases, uma de investimento e outra de compensação energética, sendo extremamente importante para o funcionamento do metabolismo dos microrganismos. Por fim, o saldo são duas moléculas de ATP e duas de NADH (LEHNINGER, NELSON e COX, 2014).

Em seguida, na ausência de oxigênio, ocorre o processo de fermentação. Nesta etapa, o ácido pirúvico presente no citosol das leveduras recebe elétrons do NADH, havendo a reciclagem do NAD^+ e a formação de etanol e gás carbônico (LEHNINGER, NELSON e COX, 2014).

De acordo com Andrade *et al.* (2009) e Milanez *et al.* (2012), a eficiência fermentativa depende de três parâmetros fundamentais:

- **Eficiência na extração dos açúcares da matéria-prima:** máxima extração do caldo da cana-de-açúcar;
- **Eficiência da levedura na transformação da matéria-prima no produto:** máxima transformação dos açúcares fermentescíveis em etanol pela ação do microrganismo inoculado;
- **Sistema industrial apropriado:** equipamentos e condições que favoreçam a ação da levedura.

O tempo de duração da fermentação dependerá da viabilidade celular inicial da levedura (recomenda-se que seja superior a 85%) e das características do mosto (AMORIM, BASSO e ALVES, 1996). A eficiência do processo fermentativo, está atrelada a fatores como a concentração de açúcares no meio e a qualidade da matéria-prima (MUTTON *et al.*, 2010).

2.3 Qualidade da cana-de-açúcar

A qualidade da cana-de-açúcar para produção de etanol é o principal fator a ser considerado, quando se objetiva o melhor desempenho da fermentação alcoólica (AMORIM, 2005).

Os fatores que podem afetar a qualidade da matéria-prima são divididos e classificados em extrínsecos ou intrínsecos. Assim, os fatores extrínsecos estão relacionados com os materiais estranhos trazidos juntamente com a cana-de-açúcar, como, por exemplo, o sistema de corte, os sistemas de despalha, a quantidade de impurezas (minerais e vegetais), o tempo decorrido entre corte e processamento, a presença de microrganismos selvagens e a sanidade da matéria-prima (presença de pragas e doenças) (FIGUEIREDO, MACIEL e MARQUES, 2008).

Os fatores intrínsecos são aqueles relacionados com a composição da cana, ou seja, estão diretamente ligados a quantidade de açúcares, não açúcares e fibras que compõem o colmo de cana (FIGUEIREDO, MACIEL e MARQUES, 2008). De acordo com Stupiello (2005), a cana-de-açúcar é composta por cerca de 12% de fibra e 88% de caldo. Por sua vez, o caldo é constituído por 15 a 19% de açúcares (glicose, frutose e sacarose) e 1 a 2,5% de não açúcares (proteínas, aminoácidos, gorduras, cera, matérias corantes, ácidos, amido, gomas, fenóis e minerais). Desta forma, o período de maturação é essencial para que a cana-de-açúcar possa atingir as melhores características intrínsecas, ou seja, adquirir o máximo armazenamento de sacarose em suas células de reserva e baixos teores de não açúcares.

2.4 Maturação da cana-de-açúcar

A sacarose é a principal molécula de interesse comercial produzida pela cana-de-açúcar, em que a sua concentração principal é o fator determinante para a qualidade da matéria-prima (DINARDO-MIRANDA, VASCONCELOS e LANDELL; 2008; GONÇALVES e MARTINEZ, 2020). Deste modo, desde os primeiros meses de crescimento e desenvolvimento, este açúcar se acumula gradualmente nos entrenós (RODRIGUES, 1995).

O desenvolvimento da cana-de-açúcar é dividido em quatro estádios principais (Figura 03):

- **Brotação e emergência:** Estabelecimento inicial das plantas no campo;
- **Perfilhamento:** Formação de perfilhos secundários na base do colmo da planta, em que na base destes colmos secundários surgem perfilhos terciários e assim sucessivamente;
- **Período de grande crescimento:** Os perfilhos que sobreviveram continuam a crescer e a se desenvolver, havendo o crescimento dos colmos em altura e espessura. Este estágio determinará a produtividade (t/ha) da cultura.
- **Maturação:** Período de intensa acumulação de sacarose, sendo este o estágio responsável por determinar a qualidade da matéria-prima (AUDE, 1993; SILVA e SILVA, 2012).

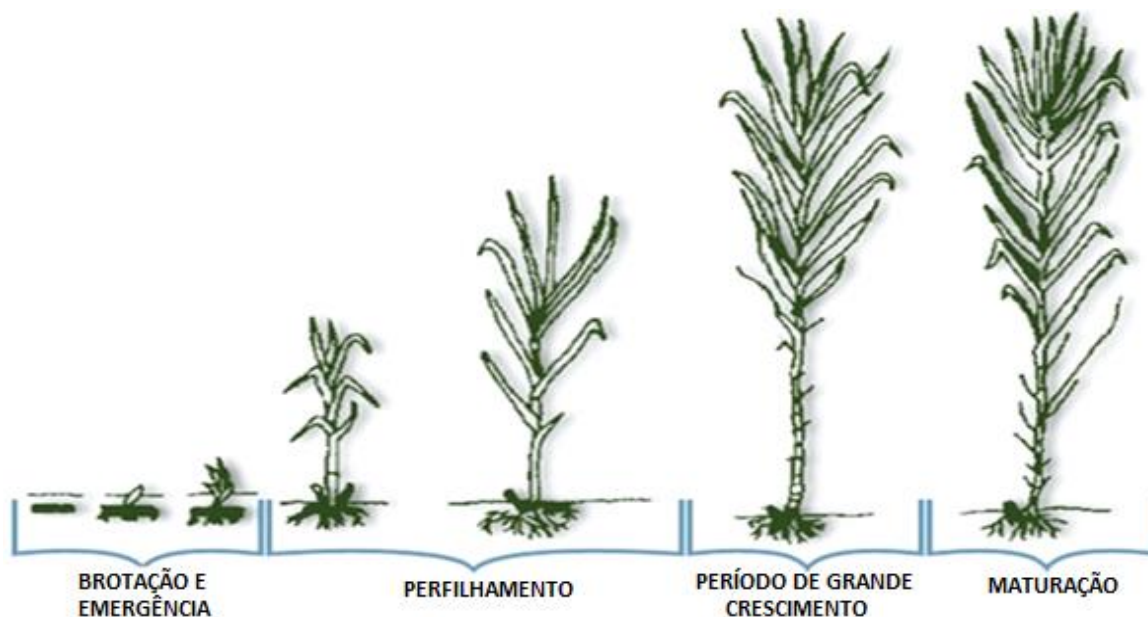


Figura 03 - Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Fonte: Adaptado de Gascho e Shih (1983).

Além disso, a maturação envolve um sistema metabólico complexo que se inicia com o processo de fotossíntese, o qual ocorre nos cloroplastos das células presentes na região foliar, encerrando-se com o acúmulo dos fotossintetizados nos colmos (RODRIGUES, 1995; SILVA e SILVA, 2012). De acordo com Viana (2007) e Barbara e Ferro (2020), este estágio consiste na diminuição da taxa de crescimento vegetativo da planta, sem que o processo de fotossíntese seja significativamente afetado. Desta forma, haverá saldo positivo de carboidratos que serão armazenados nos tecidos da planta.

A maturação pode ocorrer devido às condições ambientais desfavoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura, exigindo temperaturas mais brandas, déficit hídrico moderado e/ou carência de nitrogênio (AUDE, 1993; FAO, 2012; SILVA e SILVA, 2012; RODRIGUES e ROSS, 2020). Ou seja, ao contrário da etapa de crescimento, a qual demanda um fotoperíodo longo, e condições de temperatura e

umidade elevadas, o processo de maturação necessita de temperatura e pluviosidade baixas (OLIVEIRA, 2016; CAETANO, 2017; BARBARA e FERRO, 2020; GONÇALVES e MARTINEZ, 2020). Desse modo, quando estas condições são atendidas, o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar é interrompido, havendo o acúmulo de sacarose nas células do parênquima e no espaço apoplástico adjacente às mesmas (AUDE, 2003; JORNAL CANA, 2003; RODRIGUES e ROSS, 2020).

A translocação e o armazenamento da sacarose ocorrem a partir da base para o ápice do colmo (SILVA e SILVA, 2012; OLIVEIRA, 2016). Dessa maneira, o entrenó que se formou primeiro acumulará açúcar antes dos demais, ou seja, a concentração de sacarose é maior no entrenó que se encontra próximo ao nível do solo (SANTOS, 1977; AUDE, 1993).

Associado à temperatura, o baixo índice pluviométrico é outro fator que induz a cana-de-açúcar a entrar no estágio de maturação. Assim, quando a planta recebe umidade em excesso, o acúmulo de açúcar é prejudicado, podendo causar sérios problemas de pureza aparente (AUDE, 1993; OLIVEIRA, 2016; BARBARA e FERRO, 2020).

No Brasil, a região Centro-Sul alcança as condições ideais de maturação entre os meses de abril e novembro, uma vez que é neste período que o outono e o inverno se estabelecem, havendo a redução da temperatura, do fotoperíodo e da ocorrência de chuvas (MOURA et al., 2014; GONÇALVES e MARTINEZ, 2020).

Portanto, se todas as exigências do canavial forem atendidas, os colmos deverão apresentar, na ocasião da colheita, um teor mínimo de 18% de sólidos solúveis (°Brix) e pureza aparente igual ou superior à 85%, indicando que a cultura

está apta a ser processada e se encontra no seu período útil de industrialização (PUI) (AUDE, 1993).

2.5 Papel dos nutrientes na cana-de-açúcar

Como todo e qualquer ser vivo, as plantas necessitam de nutrientes para sobrevivência. Assim, define-se como nutriente os minerais que devem ser disponibilizados às células vegetais para que estas possam completar o ciclo de vida. Desta forma, os nutrientes são fundamentais para a manutenção das atividades metabólicas das plantas, especialmente para o processo de fotossíntese (BECARI, 2010).

Dentre os nutrientes requeridos para o bom crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar estão: Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Boro (B), Enxofre (S), Cálcio (Ca), Cloro (Cl), Níquel (Ni), Ferro (Fe), Cobre (Cu) e Molibdênio (Mo) (BECARI, 2010).

De acordo com as quantidades e com as concentrações necessárias para que as plantas realizem suas atividades, os nutrientes podem ser divididos em macro e micronutrientes (MORTVEDT, 2000; BECARI, 2010). Logo, os macronutrientes são requeridos em maior quantidade do que os micronutrientes, não sendo necessariamente mais importantes para a cultura (SILVA e SILVA, 2012)

De acordo com Vitti e Mazza (2002) e Vitti *et al.* (2005), os macronutrientes e micronutrientes que devem ser fornecidos via adubação para a cana-de-açúcar são:

- **Macronutrientes:** Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre;
- **Micronutrientes:** Boro, cobre, manganês, molibdênio e zinco.

A demanda de macronutrientes é medida em Kg.ha^{-1} , enquanto a demanda de micronutrientes é dada em gramas.ha^{-1} . Entretanto, se os nutrientes não estiverem presentes no solo ou não forem fornecidos via adubação nas quantidades ideais, a produção é prejudicada. Este comportamento é chamado "Lei do mínimo" ou "Lei de Liebig" e é válido para todos os insumos e fatores de produção (CACERES e ALCARDE, 1995; VITTI et al., 2005; PRADELA, 2021).

A "Lei do Mínimo" é análoga a um barril que possui ripas de tamanhos totalmente diferentes. Se adicionarmos água a este barril, verificamos que a capacidade de armazenamento é limitada a ripa mais curta, ou seja, no campo o nutriente em menor quantidade no solo em relação à demanda da cultura limitará o crescimento da planta (SQM VITAS, 2020a). Desta forma, a ausência de um nutriente pode impedir que a planta chegue na máxima produção ou até mesmo impedir seu crescimento.

A importância dos nutrientes está ligada aos papéis que desempenham na planta. Assim, de acordo com a sua função, os nutrientes podem ser divididos em estruturais (componentes da estrutura celular da planta); constituintes de enzimas (participam da estrutura específica de um grupo de enzimas ativas) e ativadores enzimáticos (ativam ou inibem sistemas enzimáticos) (HERVATIN, 2018). A Tabela 01 demonstra as funções que alguns minerais executam dentro do metabolismo celular.

Tabela 01 - Nutrientes e suas funções no metabolismo da cana-de-açúcar.

Nutriente	Funções	Referência
N	• Componente estrutural da cana-de-açúcar; • Controla o uso de carboidratos; • Controla o desenvolvimento vegetativo e o florescimento; • Precursor de proteínas; • Constituinte da clorofila; • Quando em excesso, pode fazer com que as plantas permaneçam em crescimento vegetativo, reduzindo o teor de sacarose.	Prado (2008) Silva e Silva (2012) Floriano (2022)
P	• Nutriente limitante para a produção vegetal no Brasil; • Regula o perfilhamento, uma vez que atua na divisão e no crescimento celular; • Estimula a assimilação de nutrientes (fotossíntese); • Atua no desenvolvimento inicial da glicose (respiração); • Essencial para os processos de armazenamento e transferência de energia; • Age na transferência energética celular e nos processos de respiração e fotossíntese; • Componente estrutural de coenzimas, fosfoproteínas, fosfolipídeos e ácidos nucleicos de genes e cromossomos; • Quando em excesso, contribui para a redução do teor de sacarose.	Grant et al. (2001) Malavolta (2006) Silva e Silva (2012) Rosa (2021)
K	• Controla o movimento dos açúcares na planta; • Regula o balanço hídrico da planta através da flexibilização da abertura e do fechamento dos estômatos; • Ajuda a elevar a produção de sacarose e a pureza do caldo; • Ativa mais de 50 enzimas envolvidas na síntese de amido e sacarose; • Auxilia a regular o crescimento e a resistência a seca, pragas e doenças; • Aumenta a produtividade de colmos em quantidade e qualidade de matéria-prima.	Otto, Vitti e Luz (2010) Silva e Silva (2012) Moore e Botha (2014) Reetz (2017) Vidotti (2021)
Mg	• Átomo central da molécula de clorofila; • Principal substrato das ATPases; • Atua nas enzimas da fotossíntese da respiração celular e da síntese de DNA e RNA; • Participa da síntese e da ativação das enzimas responsáveis pela síntese de amido e glicose.	Marschner (2012) Silva e Silva (2012) Gerendás e Führs (2013)
S	• Participa da composição de vários compostos, como: aminoácidos, coenzimas, proteínas, lipídeos, polissacarídeos, nucleotídeos, flavonóides, sulfolipídeos, glucosinolatos, sulfóxidos, compostos reduzidos, compostos não saturados, alcalóides, entre outros; • Participa da absorção iônica; • Atua no metabolismo de RNA e de DNA; • Realiza o controle hormonal para crescimento e diferenciação celular; • Cana-de-açúcar com deficiência de enxofre, apresenta baixa concentração de clorofila, ocasionando uma menor taxa fotossintética e uma menor produção de sacarose.	Stipp e Casarin (2010) Marschner (2012) Nicchio (2018)
B	• Participa da estruturação da parede celular; • Atua na respiração, divisão, maturação, diferenciação celular, metabolismo de RNA, lignificação da parede celular e inibição da formação de amido; • Possível função no metabolismo do ácido indol-acético (AIA) e dos fenóis; • Reduz a resistência da membrana plasmática e, conseqüentemente, facilita o transporte de açúcar.	Dugger (1973) Sobral e Weber (1983) Tokeshi (1991) Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) Becari (2010)

2.6 Absorção de nutrientes

Fertilizantes são sais inertes, ou seja, sem nenhuma carga. Para que os nutrientes sejam disponibilizados é necessário que sejam dissolvidos em água. Desta forma, estes elementos poderão ser absorvidos na forma de íons (CASARIN e STIPP, 2013; GUARÇONI et al., 2019).

Os fatores que podem ajudar no aumento da eficiência de absorção de nutrientes são (REETZ, 2017):

- Escolha correta da fonte;
- Utilizar fertilizantes com alta solubilidade;
- Garantir que os fertilizantes estejam dissolvidos;
- Aplicar os nutrientes nos locais que a planta realiza absorção destes elementos;
- Levar em consideração a forma como cada nutriente é absorvido;
- Obter balanço equilibrado dos nutrientes de acordo com a carga elétrica;
- Utilizar fontes sinérgicas, ou seja, que se ajudam e são absorvidas em conjunto;
- Levar em consideração as características do solo e situações climáticas;
- Escolha correta do local de aplicação do fertilizante.

Dentro os aspectos citados, a escolha do local mostra-se como fator de enorme relevância. Existem dois locais nas plantas que realizam boa absorção dos nutrientes: as raízes e as folhas. Sendo assim, a absorção é realizada **via radicular** e/ou **via foliar** (Vitti et al., 2005).

2.6.1 Absorção de nutrientes via radicular

A absorção de íons ocorre em maior quantidade na zona dos pelos radiculares, conforme Figura 04. Esta absorção pode ocorrer por (PERES, 2020):

- **Difusão:** Realiza o deslocamento do íon em uma fase estacionária imóvel. Ocorre quando existe gradiente de concentração, de um ponto de maior para um de menor concentração.
- **Fluxo de massa:** É definido pelo deslocamento do íon em fase aquosa móvel. Ocorre no sentido do movimento da água para a superfície da raiz;
- **Interceptação radicular:** À medida que a raiz se desenvolve, entra em contato com íons na fase sólida e líquida do solo. É proporcional à relação existente entre superfície das raízes e superfície das partículas.

Os nutrientes são absorvidos pelas três formas, mas identificar a forma predominante é essencial para determinar o posicionamento ideal do fertilizante.



Figura 04 - Absorção de nutrientes via radicular. (Fonte: <https://sqm-vitas.com.br/nutricao/absorcao-de-nutrientes/>)

2.6.2 Absorção de nutrientes via foliar

Ao contrário do que ocorre nas raízes, as folhas realizam somente a absorção por difusão. Os íons se movem do meio menor concentração para o de maior concentração através da membrana seletivamente permeável (ROSOLEM, 2002).

Para que a absorção ocorra é necessário que os elementos vençam barreiras de penetração existentes nas folhas em duas etapas (fases). A primeira barreira que deve atravessar é a cutícula, logo depois a parede celular, os espaços intercelulares e à superfície do plasmalema (Tabela 02). Só depois desse caminho é que os elementos chegam no citoplasma e podem ser utilizados (ROSOLEM, 2002).

Tabela 02 - Fases da absorção de nutrientes.

Fase Passiva	Fase Ativa
Absorção muito rápida e reversível	Absorção demorada e irreversível
Não ocorre gasto de energia	Há gasto de energia
O nutriente atravessa a cutícula, a parede celular e os espaços intercelulares, chegando à superfície externa do plasmalema (barreira metabólica).	Os nutrientes atravessam o plasmalema (barreira metabólica) para chegar no citoplasma. Podem se acumular no vacúolo ou ser transportados para outras partes das plantas

(Adaptado de Rosolem, 2002 e Vitti et al., 2005)

2.7 Mobilidade dos nutrientes

Cada nutriente possui características químicas que influenciam o grau de interação com o ambiente, como a capacidade de se locomover no solo ou a

capacidade dos íons de se redistribuírem das folhas para as zonas de crescimento da planta (relação fonte-dreno). Em razão disso, o estudo da mobilidade dos nutrientes é a base para escolher a melhor forma de aplicação (solo ou via foliar) e as fontes a serem utilizadas durante o processo de adubação (SQM VITAS, 2022b).

2.7.1 Mobilidade no solo

De forma geral, podemos dividir os nutrientes em alta e baixa mobilidade no solo. A Tabela 03 apresenta alguns destes elementos e as respectivas classificações.

Tabela 03 – Mobilidade de nutrientes no solo.

Nutriente	Mobilidade no solo
Nitrogênio	Altamente móvel
Fósforo	Baixíssima mobilidade
Potássio	Móvel
Magnésio	Móvel
Enxofre	Móvel
Boro	Móvel

(Adaptado de Marschner, 2012 e Viecegli, 2017)

Os elementos com baixa mobilidade devem ser aplicados de forma localizada e parcelada na planta para serem corretamente absorvidos. Os nutrientes de movimentação intermediária devem ser posicionados na zona radicular das plantas (Figura 05). Os nutrientes que possuem alta mobilidade, devem ser incorporados e fornecidos de forma fracionada, para que se evite a lixiviação dos mesmos (MARSCHNER, 2012; VIECELLI, 2017; SQM VITAS, 2022b).

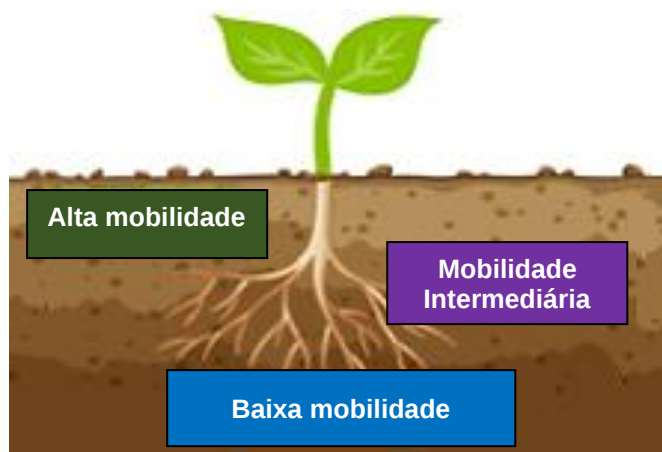


Figura 05 - Local ideal para adubação no solo de acordo com a mobilidade do nutriente. Fonte: <https://sqm-vitas.com.br/nutricao/mobilidade-dos-nutrientes/>.

2.7.2 Mobilidade nas plantas

Assim como nos solos, a mobilidade dos nutrientes nas plantas pode ser dividida em alta e baixa. A Tabela 04 apresenta alguns exemplos e suas classificações.

Tabela 04 – Mobilidade de nutrientes na planta.

Nutriente	Mobilidade na planta
Nitrogênio	Altamente móvel
Fósforo	Móvel
Potássio	Móvel
Magnésio	Móvel
Enxofre	Pouco móvel
Boro	Baixa mobilidade

(Adaptado de Marschner, 2012 e Viecelli, 2017)

A mobilidade dos nutrientes nas plantas ocorre nos vasos condutores: xilema e floema. No xilema ocorre a condução da seiva bruta, água e minerais absorvidos pelas raízes, até as folhas. No o floema é realizado o transporte da seiva elaborada, produtos sintetizados nas folhas durante o processo de fotossíntese, para as outras partes da planta (MARSCHNER, 2012; VIECELLI, 2017; SQM VITAS, 2022b).

O floema é responsável pela distribuição de aminoácidos, açúcares e nutrientes. Desta forma, caso um produtor decida utilizar a adubação foliar, os elementos aspergidos nas folhas serão absorvidos e serão transportados pelo floema para as outras partes da cana-de-açúcar, conforme demonstra a Figura 06.

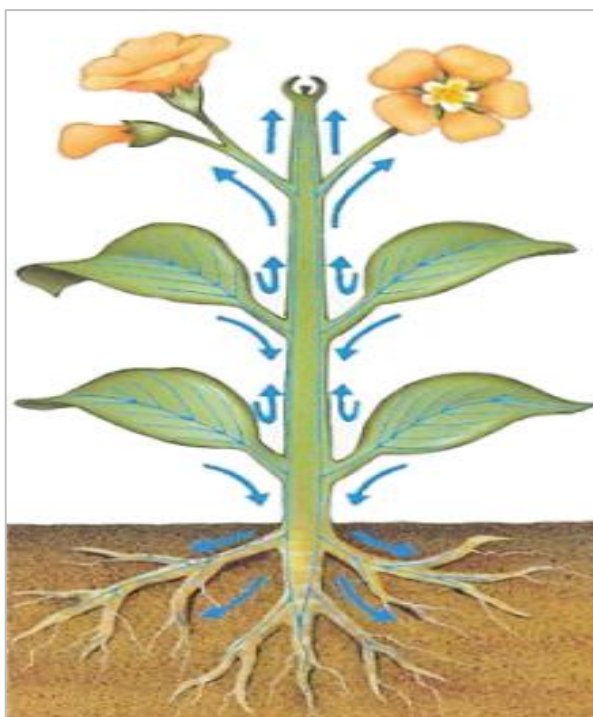


Figura 06 – Esquema da distribuição de nutrientes absorvidos pelas folhas para as outras partes da planta. Fonte: <https://sqm-vitas.com.br/nutricao/mobilidade-dos-nutrientes/>.

Embora o boro geralmente tenha baixa mobilidade no floema (Tabela 04), o seu efeito na translocação do açúcar é importante pois sua deficiência reduz a

formação dos complexos açúcar-borato (responsáveis por facilitar o transporte de sacarose dentro da planta). Como consequência, ocorre queda na taxa de transporte de carboidrato e, em casos mais graves, pode provocar a necrose do floema (NICHOLAS, 1961; MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

2.8 Adubação foliar

Difícilmente o solo consegue fornecer os minerais nas concentrações requeridas pelas plantas. Dessa forma, a principal finalidade do processo de adubação é fornecer aos organismos vegetais os nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento. Devido a isso, muitas vezes a adubação é requerida nas áreas em que se encontram os canaviais, de modo a gerar cana-de-açúcar bem nutrida que dará origem à matéria-prima de qualidade e de alta produtividade industrial (FAQUIM, 2005; PRADELA, 2021). Sabe-se que a parte aérea das plantas, em especial as folhas, possui capacidade de absorver água e nutrientes. Assim, uma forma de fornecer minerais para a cana-de-açúcar é a realização de adubação foliar. Esta prática tem como objetivo a imediata correção das deficiências nutricionais da planta, servindo como complemento da adubação realizada via solo (BAUMGARTNER e OTAVIO, 1999; VITTI *et al.*, 2005; SILVA, 2020).

Os micronutrientes são os principais produtos utilizados neste tipo de adubação, uma vez que são exigidos em pequenas quantidades que, quando adicionadas diretamente no solo, podem não sendo absorvidas pela cultura vegetal (NICCHIO *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2021; BATISTA, 2021). A cana-de-açúcar, por exemplo, responde positivamente à aplicação de micronutrientes por adubação foliar.

Assim, os minerais ficam disponíveis para desempenhar funções vitais no metabolismo, principalmente como ativadores enzimáticos (JAMRO et al., 2002).

Já os macronutrientes, também podem ser aplicados dessa maneira, em especial na época de elevada exigência nutricional da cana-de-açúcar (VITTI et al., 2005), como é o caso do estágio de maturação. Desse modo, a adubação foliar irá corrigir as exigências nutricionais que não foram atendidas pela adubação de base (NICCHIO et al., 2020).

2.8.1 Fatores que influenciam na absorção foliar

Vários fatores inerentes à qualidade do produto e da aplicação afetam a absorção foliar, como por exemplo: concentração, solubilidade, tamanho, massa molar, raio iônico e raio de hidratação dos componentes do adubo (FERNÁNDEZ, SOTIROPOULOS e BROWN, 2015; MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1997; WITTWER e TEUBNER, 1959).

Quando se aplica uma solução contendo nutrientes sobre as folhas, invariavelmente as concentrações no seu exterior serão maiores do que as encontradas no seu interior. Desta forma, forma-se um gradiente de concentração e, conseqüentemente, favorece a absorção do adubo (FERNÁNDEZ, SOTIROPOULOS e BROWN, 2015). Entretanto, as taxas de absorção foliar em relação à taxa de concentração de solutos externos, ainda não estão totalmente elucidadas (FERNÁNDEZ e EICHERT, 2009).

Os fertilizantes foliares constituídos por sais, quelatos e ou complexos de nutrientes minerais, precisam possuir uma boa solubilidade para serem melhor absorvidos e metabolizados pela planta. O uso de aditivos pode melhorar esta

característica, sempre levando em consideração o limite de concentração, devendo prevalecer a fase líquida (FERNÁNDEZ, SOTIROPOULOS e BROWN, 2015).

O tamanho das moléculas numa solução nutricional, pode influenciar na absorção foliar devido ao tamanho dos poros aquosos da cutícula. De acordo com Fernández, Sotiropoulos e Brown (2015), os raios desses poros foram mensurados por meio de estimativas indiretas em folhas e frutos de várias espécies e variaram entre 0,3 a 0,5 nm. Eichert e Goldbach (2008), fizeram o mesmo com folhas de café e o raio variou entre 2 a 2,4 nm, demonstrando ser de 4 a 8 vezes maior que os dados anteriores. O resultado de outros experimentos com diferentes solutos e membranas, revelaram que a cutícula possui permeabilidade seletiva de acordo com o tamanho (WÓJCIK, 2004). Moléculas com elevada massa molar possui maior tamanho e são menos absorvidos, sendo o inverso verdadeiro (EICHERT e GOLDBACH, 2008).

A velocidade de difusão das moléculas é afetada diretamente pela hidratação e pelo raio iônico. Segundo Fagan *et al.* (2016), quanto menor o raio iônico maior será a velocidade de difusão. Íons hidratados possuem velocidade de difusão menor quando comparados com íons não hidratados de mesmo diâmetro. Portanto, cátions com maior valência, difundem-se mais lentamente, porém, entre cátions de valência similar, o que estiver hidratado terá o maior diâmetro e menor difusão.

Segundo Marschner (2012), a velocidade de absorção de nutrientes pode ser influenciada pelo estado iônico interno, folhas supridas com um determinado nutriente tem menor velocidade de absorção deste, em plantas deficientes a velocidade de absorção é maior. A limitação de absorção em plantas deficientes pode ocorrer caso o tecido tenha sido danificado de forma irreversível. Rosolem (2002) descreve que vários fatores, como espécie da planta, íon acompanhante, dentre muitos outros

fatores, influenciam a velocidade de absorção de nutrientes diluídos em água pela folha.

Propriedades físico-químicas relacionadas ao diâmetro iônico e ao raio de hidratação, são fundamentais para a compreensão da absorção, uma vez que, no processo de difusão, quanto maior o raio de hidratação de um íon, mais lento será sua difusão, ou seja, raio iônico menor se difunde mais rápido (FAGAN *et al.*, 2016). Íons de mesmo diâmetro, quando hidratados, são conseqüentemente mais lentos. Cátions com valência igual, com diâmetro iônico maior, decrescem a absorção (FRANKE, 1967).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo na Fazenda Santa Elisa, na cidade de Araraquara–SP, na safra 2020/2021. O município situa-se na região central do Estado de São Paulo à 664 m de altitude, apresentando relevo levemente ondulado e clima tropical de altitude (BARBUGLI, 2004).

As análises químico-tecnológicas foram conduzidas no Laboratório Tecnologia do Açúcar e do Alcool, do Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Campus de Jaboticabal – SP.

3.2 Instalação do experimento

A área escolhida para a implementação do experimento apresentava cana-de-açúcar CV 7870 no 4º estágio de corte. Tal variedade tem como principais características: porte ereto, excelente performance sob plantio e colheita mecanizada e boa adaptabilidade a ambientes intermediários – C e D (AGROLINK, 2012). No dia 06 de fevereiro de 2020 (133 dias após o último corte) foi realizado a aplicação de 12,5 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional para Período Vegetativo (7,8% de nitrogênio) em todo o talhão (Figura 07).



Figura 07 - Mapa da área utilizada na Fazenda Santa Elisa para a implantação do experimento na cidade de Araraquara-SP (safra 2020/2021), com destaque para o talhão escolhido.

A instalação dos tratamentos foi realizada em 08 de junho de 2020 através da aplicação de Complexo Nutricional para Seca (CNS). O delineamento experimental foi em faixas, com 5 tratamentos (Tabela 05) e 5 repetições por faixa.

Tabela 05 - Tratamentos e doses utilizadas para implantação do experimento na cidade de Araraquara-SP (safra 2020/2021).

Tratamentos	Produtos	Dose
Testemunha	-	-
CNS 3L	Complexo Nutricional para Seca*	3 L.ha ⁻¹
CNS 6L	Complexo Nutricional para Seca *	6 L.ha ⁻¹
CNS 9L	Complexo Nutricional para Seca *	9 L.ha ⁻¹
CNS 6L + B	Complexo Nutricional para Seca *	6 L.ha ⁻¹
	Boro**	2 L.ha ⁻¹

* 1% de N; 6% de P₂O₅; 6% de K₂O; 2% de Mg; 2,5% S e 1,6% de Carbono Orgânico Total (Aminoácidos).**Ácido bórico à 10%.

As parcelas foram constituídas por 11 linhas de cana-de-açúcar com 50 metros de comprimento, conforme representado no esquema a seguir:

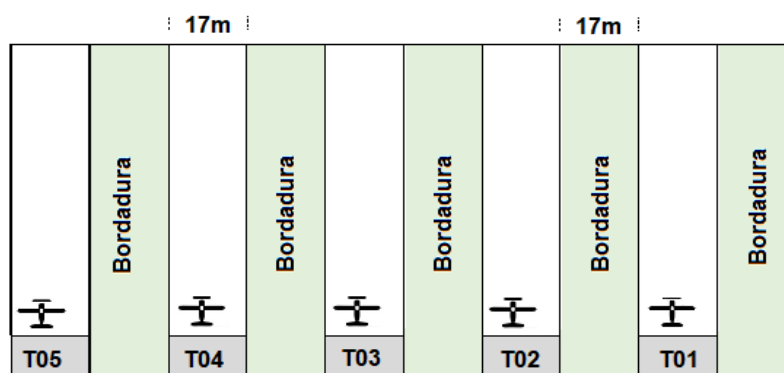


Figura 08 - Croqui da área utilizada na Fazenda Santa Elisa para a implantação do experimento na cidade de Araraquara–SP (safra 2020/2021), com destaque para os tratamentos realizados.

Todos os produtos foram aplicados por via aérea, utilizando-se aeronave agrícola adaptada com barra com bicos hidráulicos. Foi empregado sistema de posicionamento global (GPS) acoplado, de controle automático, utilizando-se altura de voo de 3 a 4 metros acima do dossel, velocidade constante de 160 km.h⁻¹ e vazão de 30 L.ha⁻¹.

3.3 Condições meteorológicas da área do experimento

As condições climáticas do município de Araraquara-SP foram acompanhadas até o processamento da cana-de-açúcar para a produção de etanol. Os dados coletados encontram-se na Tabela 06 e Figura 09.

De acordo com os índices pluviométricos apresentados, o ano de 2020 foi bastante seco. Somente em janeiro e fevereiro houve precipitações superiores à 150 mm, característica comumente observada no Brasil nos primeiros meses do ano e em estações chuvosas (METEOBLUE, 2022).

Tabela 06 - Dados de clima e tempo para Araraquara-SP durante os meses de janeiro a outubro de 2020. Elaborado com os dados coletados em Free Meteo (2022) e DAAE Araraquara (2022).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
Precipitação (mm)	340,4	297,5	101,9	18,7	23,3	24,8	2,8	11,6	7,9	49,5
Dias de precipitação	17	17	6	2	2	4	1	2	3	9
Média máxima (°C)	31,1	30,0	31,1	29,8	26,8	28,5	29,3	29,7	34,1	33,4
Média mínima (°C)	21,2	21,0	19,4	17,1	13,3	15,2	14,4	15,1	18,4	20,6

A partir de abril houve drástica diminuição na quantidade de chuvas, comportamento que persistiu até setembro. Durante estes meses a precipitação foi inferior à 30 mm. Tais fatores contribuíram para outono e inverno secos e com baixa incidência solar no ano de 2020 (Figura 11).

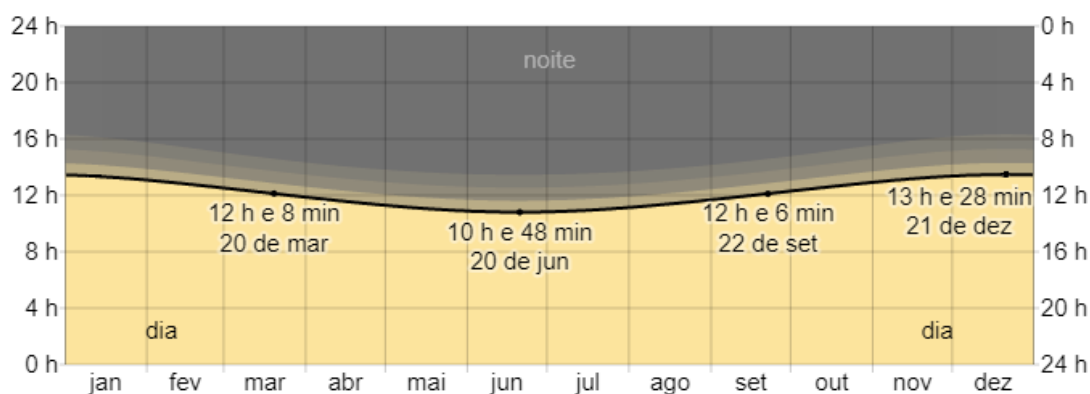


Figura 09 - Horas de luz solar em Araraquara-SP durante os meses de janeiro à dezembro de 2020. Fonte: Weather Spark (2022).

Todos os dados coletados confirmam que o Complexo Nutricional para Seca tinha condições para ser testado e apresentar resultados, uma vez que foi aplicado durante o período de pré-seca conforme indicado pelo fabricante.

3.4 Colheita da cana-de-açúcar

Em outubro de 2020, foram colhidos 35 colmos de cana-de-açúcar de cada tratamento através de corte manual, rente à base e no ponto de quebra da ponta, sem queima prévia da palha. As folhas secas e verdes foram removidas para obtenção de colmos limpos.

3.5 Extração e clarificação do caldo da cana

Após a colheita dos colmos, foi realizada a extração do caldo em moenda de laboratório, para obtenção do caldo extraído.

O caldo extraído foi tratado segundo metodologia CTC (2005), adicionando-se Hidróxido de Cálcio 6º Bé até pH $6,0 \pm 0,1$. A seguir, este passou por aquecimento até a ebulição, a fim de acelerar a reação entre o cálcio e o fosfato. Posteriormente, o caldo aquecido foi disposto em provetas graduadas contendo polímero (Kemira, LX), utilizado como auxiliar de decantação. Após 20 minutos em repouso, o caldo clarificado foi sifonado e armazenado.

3.5 Avaliação das Características Tecnológicas dos Caldos Extraídos e Clarificados

As seguintes análises foram realizadas nos caldos obtidos: Pol por polarimetria, Sólidos Solúveis Totais (°Brix) por refratometria, pH por leitura direta em pHmetro, Acidez Total por titulação (CTC, 2005), Açúcares Redutores (AR) e Açúcares Redutores Totais (ART) pelo método de Fehling (Lane e Eynon, 1934), Amido por espectrofotometria (Chavan et al., 1991) e Compostos fenólicos totais por espectrofotometria (Folin e Ciocalteu, 1927).

Posteriormente, a Pureza foi determinada pela seguinte expressão:
 $\text{Pol}/^{\circ}\text{Brix} \times 100$.

3.6 Preparo do Mosto e Condução do Processo Fermentativo

Após a clarificação do caldo, padronizou-se o Brix para $16 \pm 0,1$, o pH foi ajustado com ácido sulfúrico até $4,5 (\pm 0,1)$, e a temperatura ajustada para $32^{\circ}\text{C} (\pm 0,1)$, obtendo-se o mosto.

O processo fermentativo ocorreu em frascos erlenmeyer de 500 mL, utilizando-se alíquotas de 250 mL de mosto inoculado com 30% de levedura *Saccharomyces cerevisiae* prensada, com viabilidade inicial de 99,88%. Os frascos contendo mosto inoculado foram mantidos a $32^{\circ}\text{C} (\pm 0,1)$, sob agitação constante de 150 rpm.

Estabelecia-se como concluída a fermentação quando o Brix apresentava valor ≤ 1 em duas determinações realizadas num intervalo de 60 minutos. Ao final da fermentação, o vinho foi submetido à centrifugação a 1650 g, por 5 minutos (Himac, CR 21G), possibilitando a separação do inóculo e vinho delevedurado.

3.7 Análises microbiológicas da fermentação

Ao início e ao final da fermentação foram realizadas avaliações microbiológicas utilizando-se Câmara de Neubauer, quantificando-se a viabilidade celular das leveduras, a viabilidade de brotos e o índice de brotamentos, de acordo com Lee, Robison e Wang (1981).

3.8 Avaliação das Características Tecnológicas do Vinho

As seguintes análises foram realizadas nos vinhos obtidos: Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT) pelo método de Fehling (LANE e EYNON, 1934), Acidez Sulfúrica por titulação (CTC, 2005) e Teor de Glicerol por espectrofotometria (Shimadzu, UV mini 1240) (CTC, 2005).

3.9 Análise do destilado

Os vinhos foram destilados em micro-destilador de álcool (Tecnal, TE-012), sendo posteriormente determinado seu Teor Alcoólico por leitura direta em densímetro digital portátil (Anton Paar, DMA 35).

3.10 Avaliação da Eficiência Fermentativa

A metodologia de Fernandes (2011) foi utilizada para calcular o volume de etanol prático (mL) que pode ser produzido de acordo com o ART do mosto. O rendimento real foi calculado multiplicando o teor de etanol pelo volume dos vinhos. A eficiência de fermentação foi calculada dividindo o rendimento real de etanol pelo rendimento prático de etanol.

3.11 Análise Estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e teste de comparação de médias (Tukey 10%) utilizando o Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos - AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO JUNIOR, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caldo extraído

Os colmos de cana destinados a produção de etanol foram inicialmente submetidos à extração do caldo e, em seguida, realizadas as análises de Brix, ART, AR, Pol, Pureza, pH, Acidez Total, Cinzas, Turbidez, Teor de Amido e Compostos Fenólicos Totais. Os resultados encontrados estão representados graficamente nas Figuras 10 a 18.

A Figura 10 demonstra que todos os valores médios determinados para °Brix foram superiores a 18%, evidenciando que os colmos estavam aptos a serem processados para a produção de etanol (SILVA et al. 2015; MUTTON e MUTTON, 2015).

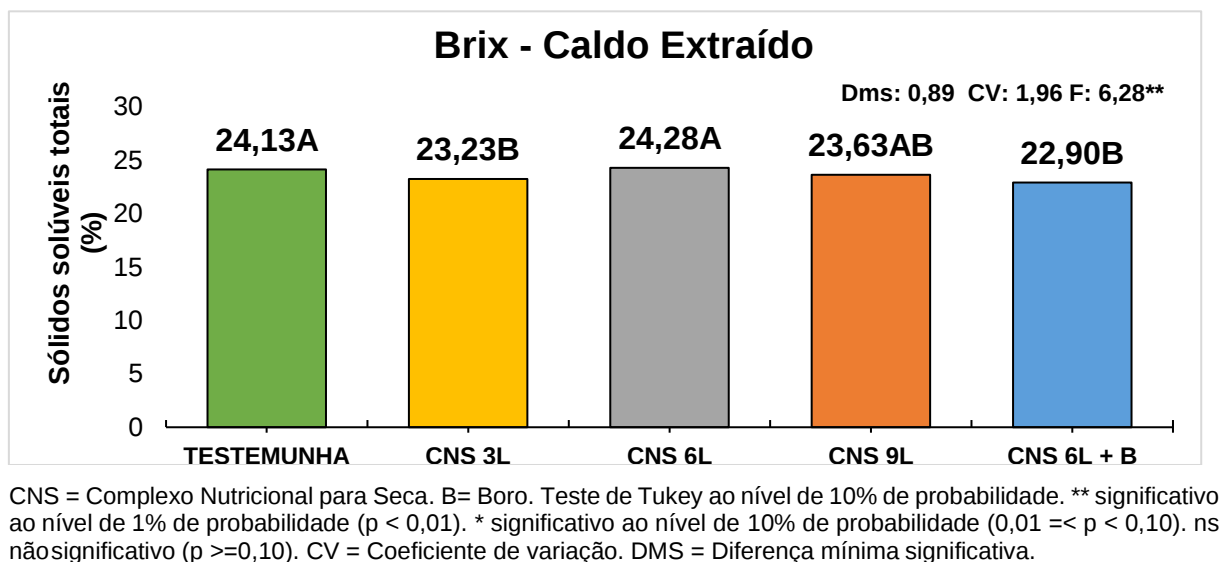


Figura 10 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Brix do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

A análise de Açúcares Redutores Totais (ART) quantifica a concentração de açúcares presentes no caldo extraído, sendo esses: sacarose, glicose e frutose (DORNEMANN, 2016). Todos os tratamentos com CNS obtiveram incremento na quantidade de carboidratos em relação à Testemunha, mesmo que estatisticamente não haja nenhuma diferença significativa (Figura 11).

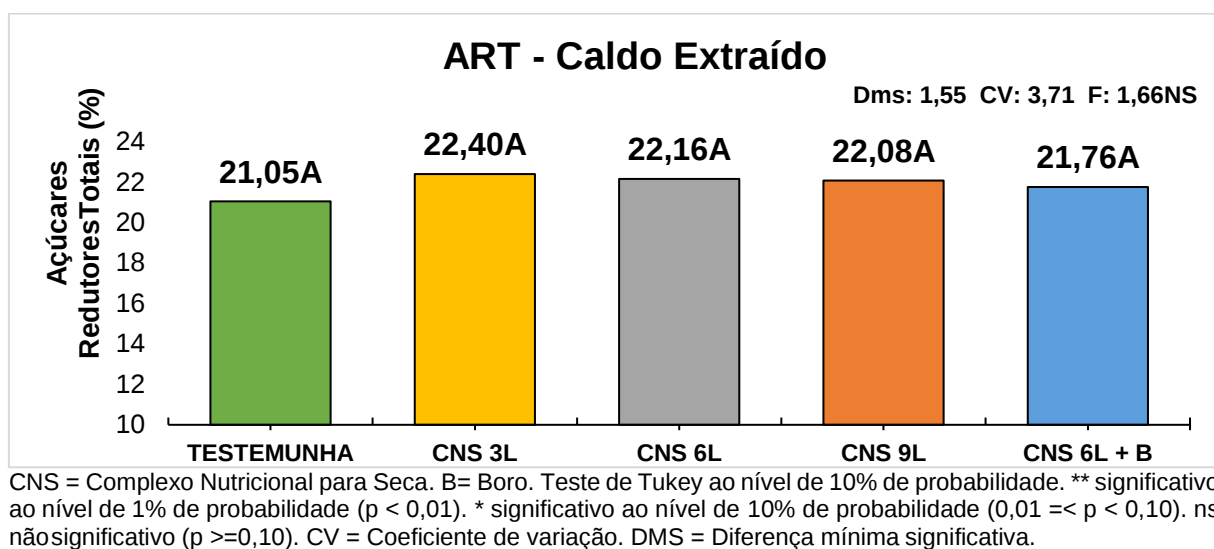


Figura 11 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores totais do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

Açúcares Redutores (AR) são substâncias presentes na cana-de-açúcar que possuem a propriedade de reduzir o cobre cúprico à cuproso durante o método de Fehling (CTC, 2005). São constituídos principalmente por glicose e frutose. Ao se observar as médias obtidas, verifica-se que CNS 9L obteve menor concentração AR que os demais tratamentos.

A concentração de AR no caldo para o processamento industrial deve ser menor ou igual a 0,80% (AMORIM, 2005), sendo assim, todos os tratamentos encontravam-se dentro da faixa desejada (Figura 12).

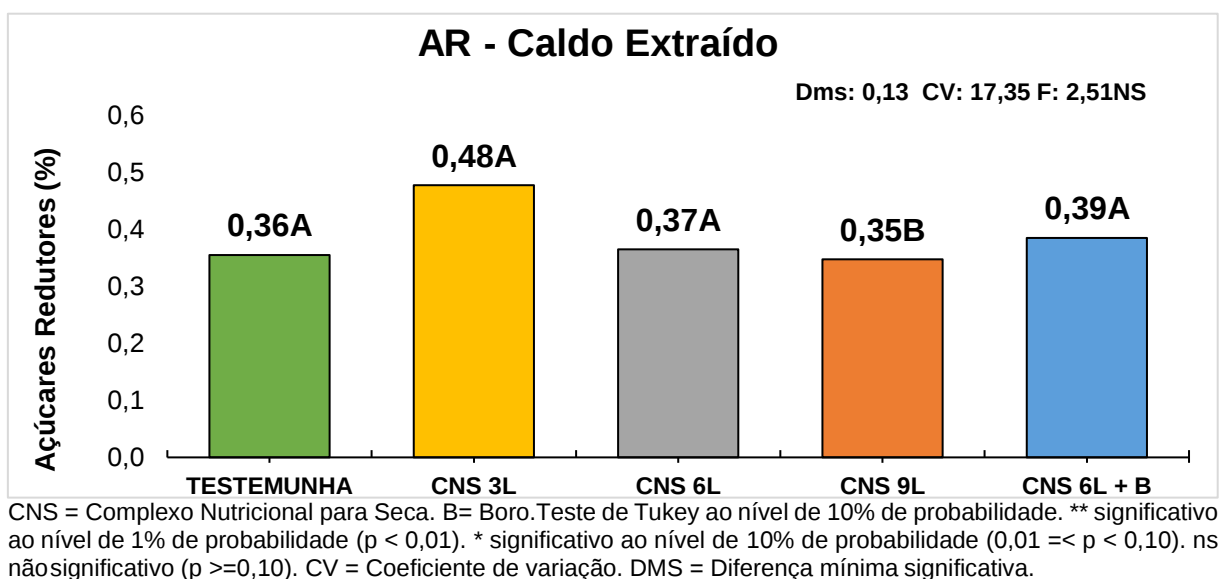


Figura 12 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

Pol é a porcentagem em massa de sacarose aparente, contida em uma solução açucarada de peso normal (CTC, 2005; SILVA e ANDRADE, 2018). É o sólido solúvel em maior quantidade nos colmos da cana madura (VALSECHI, 1995). Observando-se a Figura 15, verificou-se que todos os tratamentos se encontravam dentro da faixa de 14-22%, considerada ideal para processamento industrial (SILVA et al., 2015).

A utilização de CNS apresentou incrementos significativos no teor de sacarose dos caldos dos colmos de cana-de-açúcar. A maior diferença foi observada para CNS 3L que obteve acréscimo de 6,52% em sua concentração em relação à Testemunha.

Esta diferença está ligada principalmente aos nutrientes que foram utilizados na adubação foliar. A presença de enxofre favoreceu a formação de clorofila, o nitrogênio e magnésio são partes constituintes da clorofila, o potássio ativa mais de 50 enzimas responsáveis pela produção de sacarose e o fósforo é essencial para armazenamento de energia (MALAVOLTA, VITTI E OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA,

2006; STIPP E CASARIN, 2010; MARSCHNER, 2012; REETZ, 2017 E FLORIANO, 2022). Desta forma, as plantas que receberam o CNS possuíam suporte nutricional para produção de sacarose e seu armazenamento, garantindo matéria-prima de melhor qualidade industrial.

O Brix e a Pol podem apresentar tendências diferentes conforme observou-se nas Figuras 10 e 13. A Testemunha apresentou o maior valor de Brix, enquanto para a Pol foi o menor valor encontrado entre os tratamentos. Isto demonstra que uma alta quantidade de sólidos solúveis não implica em uma alta concentração de açúcares no caldo. Nas usinas deseja-se as maiores concentrações possíveis no teor de sacarose no caldo, pois isto determinará a sua pureza (DORNEMANN, 2016).

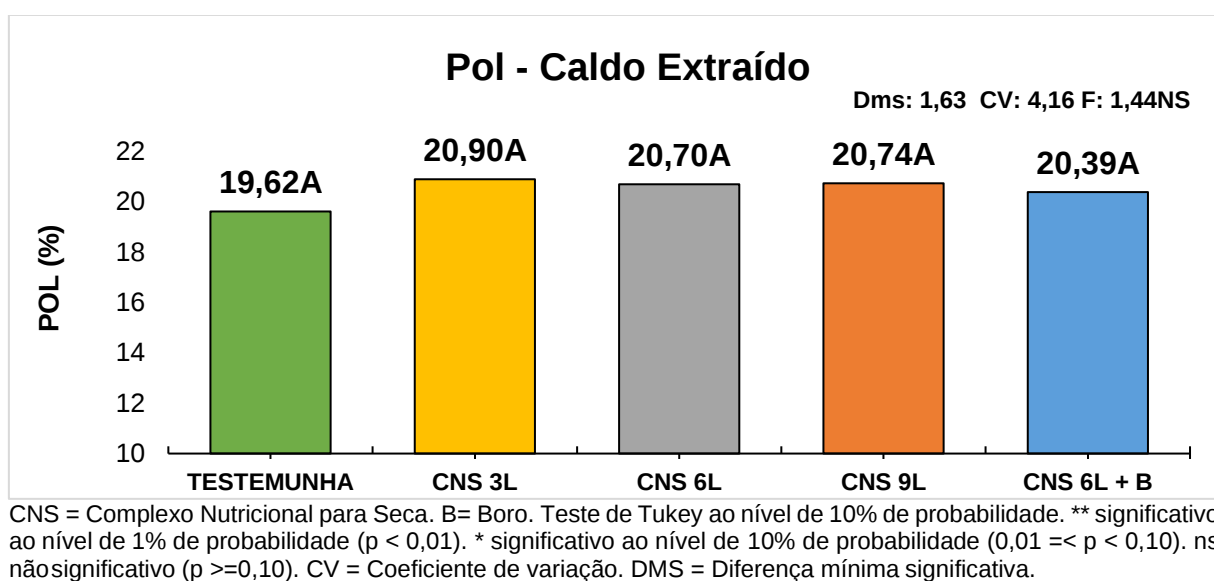


Figura 13 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pol do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

A Pureza do caldo está diretamente relacionada com a qualidade da matéria-prima entregue nas usinas (STUPIELLO, 2000; OLIVEIRA et al., 2012). É a relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contidos em uma

solução, ou seja, é o resultado do cálculo de Pol dividida por Brix, multiplicado por 100 (CTC, 2005).

No estado de São Paulo, recomenda-se que o valor mínimo para Pureza seja igual ou superior à 80% no início da safra e 85% nos demais meses, para que o processamento dos colmos obtenha alto rendimento e se torne viável industrialmente (FRANCO, 2003; FRANCO et al., 2008). De acordo com os resultados (Figura 14), somente a Testemunha não conseguiu atingir o teor necessário na data de colheita dos colmos, sendo estatisticamente menor que os demais tratamentos. O uso de 3 L.ha⁻¹ de CNS e 6L.ha⁻¹ de CNS + Boro foram os tratamentos que obtiveram as maiores médias, sendo 10,58% e 9,49% superiores à Testemunha, respectivamente.

Os dados coletados durante o experimento evidenciam que o uso de CNS possibilita a obtenção de matéria-prima com maiores teores de açúcares e, consequentemente, pureza ideal para obtenção de altos rendimentos industriais em cana-de-açúcar colhida em final de safra.

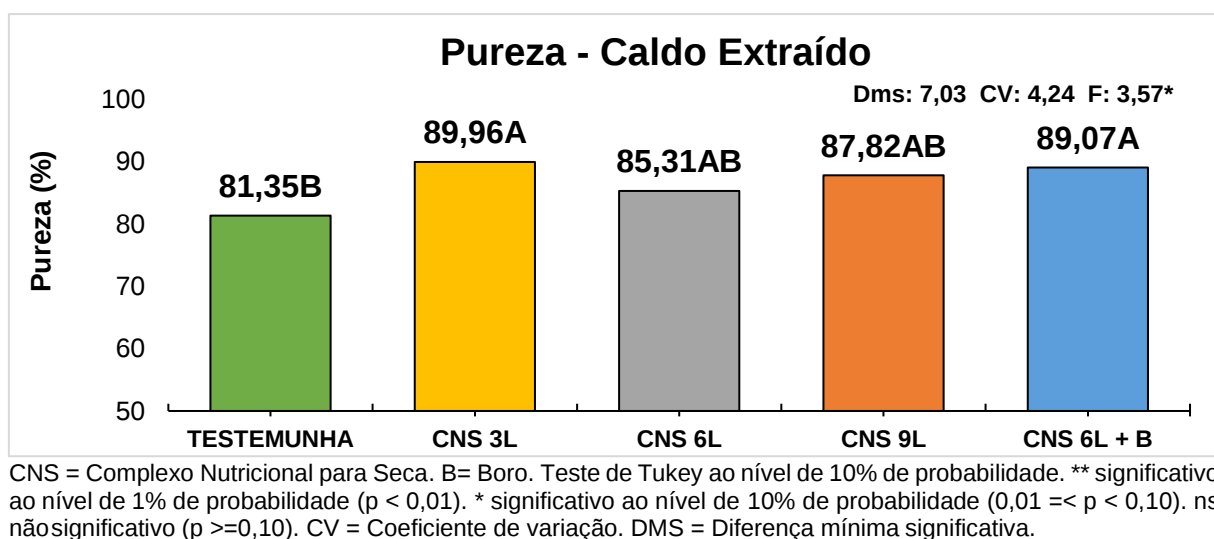


Figura 14 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pureza do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

Os valores de pH dos caldos extraídos são excelentes indicadores da maturação e da qualidade dos colmos colhidos. De acordo com a Figura 15, todos os tratamentos se encontravam dentro da faixa de 5,0 à 5,5 considerada ideal para o processamento (AMORIM, 2005).

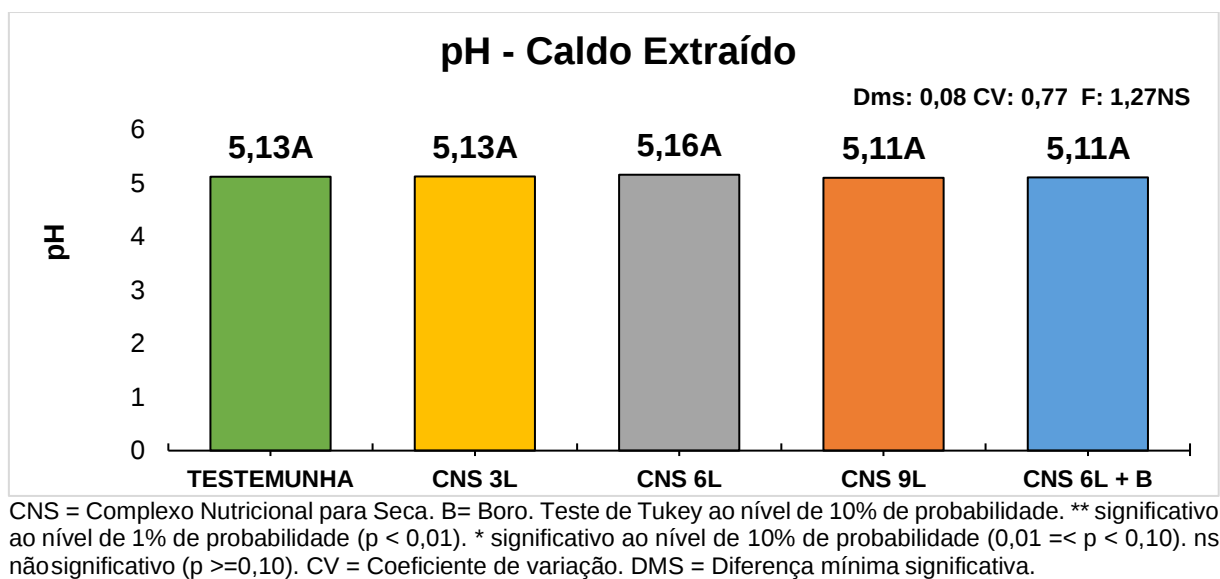


Figura 15 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pH do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

Os ácidos orgânicos são moléculas encontradas em pequenas quantidades, nos caldos de cana-de-açúcar. Representam porcentagem significativa dos não-açúcares, sendo responsáveis pela acidez titulável do caldo (HONIG, 1969). Assim como o pH, a Acidez Total pode ser utilizada para identificar se a matéria-prima está com maturação ideal ou até mesmo deteriorada.

Os valores obtidos para o caldo extraído não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Figura 16). Todas as médias estavam superiores à faixa recomendada pela literatura, que considera que os valores devem ser menores ou iguais a $0,8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ (DELGADO e CÉSAR 1977).

Azevedo et al. (2018), ao trabalharem com as variedades RB92579 e SP91-1049, também obtiveram teores maiores, com média de 1,53 e 1,69 g.L⁻¹ H₂SO₄, respectivamente. Já Barizi (2021) ao trabalhar com a variedade CV 7870 obteve valores entre 1,85 e 2,15 g.L⁻¹ H₂SO₄. Tais resultados colaboram com as médias encontradas no presente estudo, demonstrando que dependendo da variedade, o teor de ácidos orgânicos pode ser maior que a concentração recomendada por Delgado e César (1977).

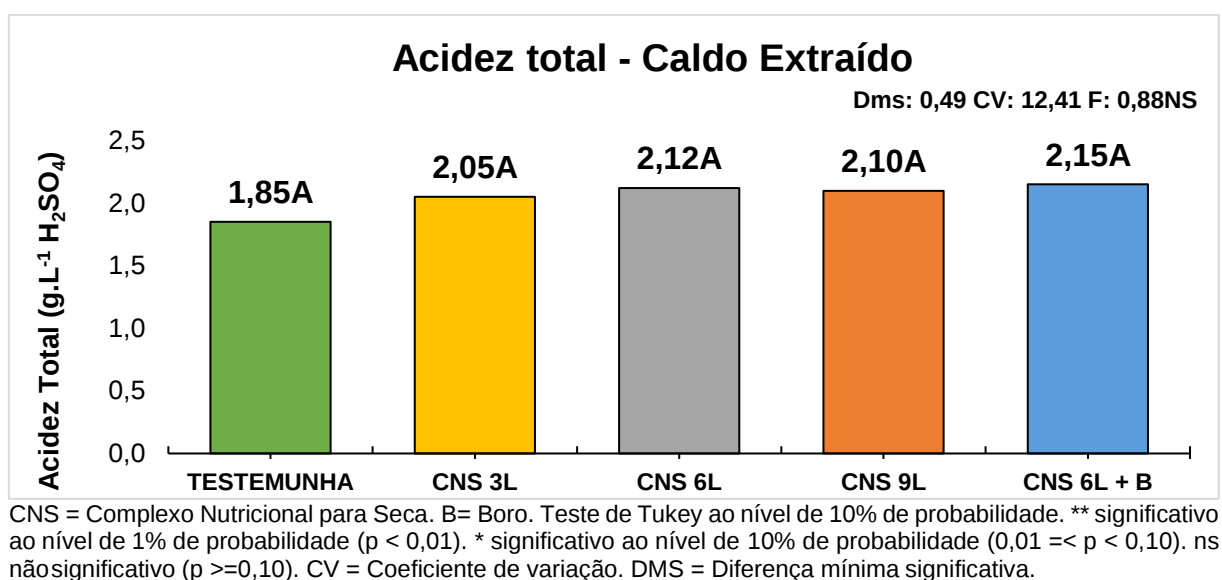


Figura 16 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para acidez total do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

O amido é polissacarídeo natural do metabolismo das plantas formado por moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas (AZEVEDO L. et al., 2018). Sabe-se que elevados teores de amido contribuem para diversos prejuízos por ocasião do processamento industrial do caldo de cana. Na produção de etanol, as dificuldades operacionais normalmente ocorrem no tratamento do caldo (BORGES et al. 2016) e no processo fermentativo. Quando presente no mosto, pode causar uma

série de problemas operacionais, resultando em perdas para a fábrica, como queda significativa no rendimento da fermentação alcoólica (STUPIELLO, 2010).

De acordo com a Figura 17, a utilização de CNS proporcionou a diminuição nos níveis de amido presente nos colmos de cana-de-açúcar. Este resultado é esperado quando o processo de maturação é favorecido, uma vez que esta etapa preza pelo acúmulo de sacarose, havendo o conseqüentemente decréscimo dos não açúcares (amido, ácido orgânicos e compostos fenólicos) (MUTTON e MUTTON, 2015).

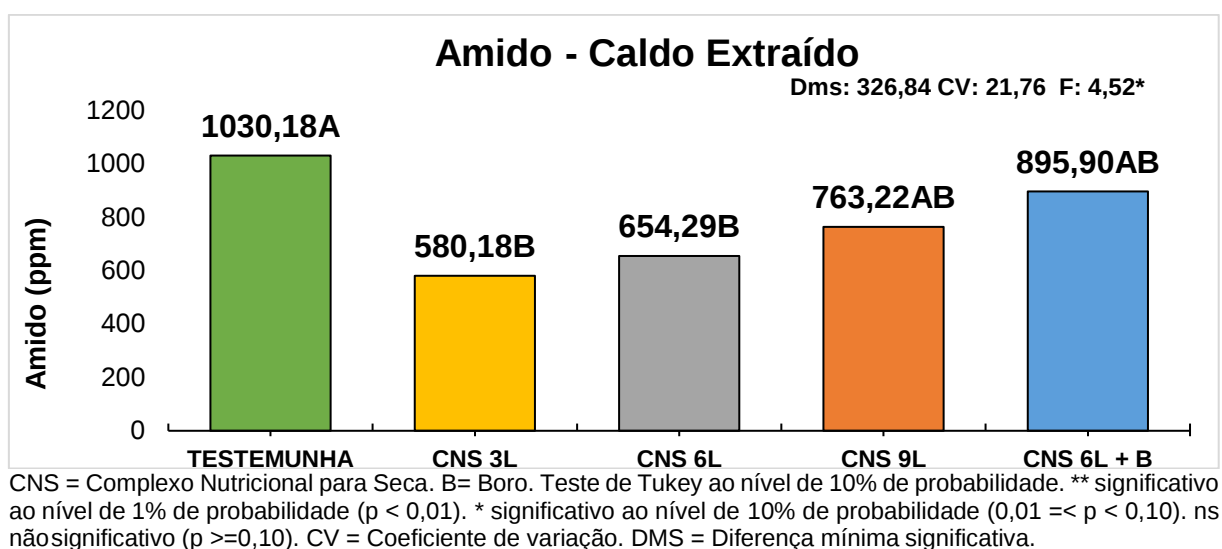


Figura 17 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para amido do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

Os compostos fenólicos são biomoléculas sintetizadas pelo metabolismo secundário das plantas, derivando-se da fenilalanina e da tirosina. Assim, essas substâncias são produzidas com maior intensidade quando a planta é submetida a condições de estresse, como a ocorrência de pragas e doenças ou de injúrias mecânicas e/ou químicas (SHAHIDI e NACZK, 2004; LIMA, 2012). Estes compostos são capazes de causar a inibição do processo fermentativo, uma vez que afetam o

metabolismo microbiano, inibindo o crescimento celular e a assimilação de açúcares pelos microrganismos (RAVANELI et al. 2011).

De acordo com Palmqvist e Hahn-Hägerdal (2000) e Silva (2013), os fenóis podem provocar a perda da integridade da membrana celular, prejudicando a função de atuar como barreira seletiva. Compostos fenólicos como os flavonoides, o ácido caféico e o seu derivado fenetil éster, além de inibir a divisão celular, também podem interferir na motilidade de microrganismos como as leveduras (SILVA, 2013). Desta forma, baixas concentrações desses compostos são necessárias para correta condução do processo fermentativo.

De acordo com os dados apresentados na Figura 18, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos testados. Apesar disto, nota-se uma redução de 26,93% na concentração de compostos fenólicos totais para CNS 6L+B em relação à Testemunha.

Dados na literatura têm indicado que variedades de cana-de-açúcar podem possuir diferentes níveis de compostos fenólicos (SILVA, 2013). Ravaneli et al. (2011) apontam para concentrações da ordem de 400 ppm no caldo de cana. Leite (2000) encontrou valores na faixa de 300 a 500 ppm. De acordo com a literatura, somente CNS 6L+B possui valores dentro do esperado para o processamento industrial.

Simioni et al. (2006) estudaram o caldo de diversas variedades de cana em diferentes épocas de uma mesma safra. Os resultados encontrados demonstraram que quanto mais próximo do final da safra (mês de outubro) maior foi o valor de compostos fenólicos totais quantificados.

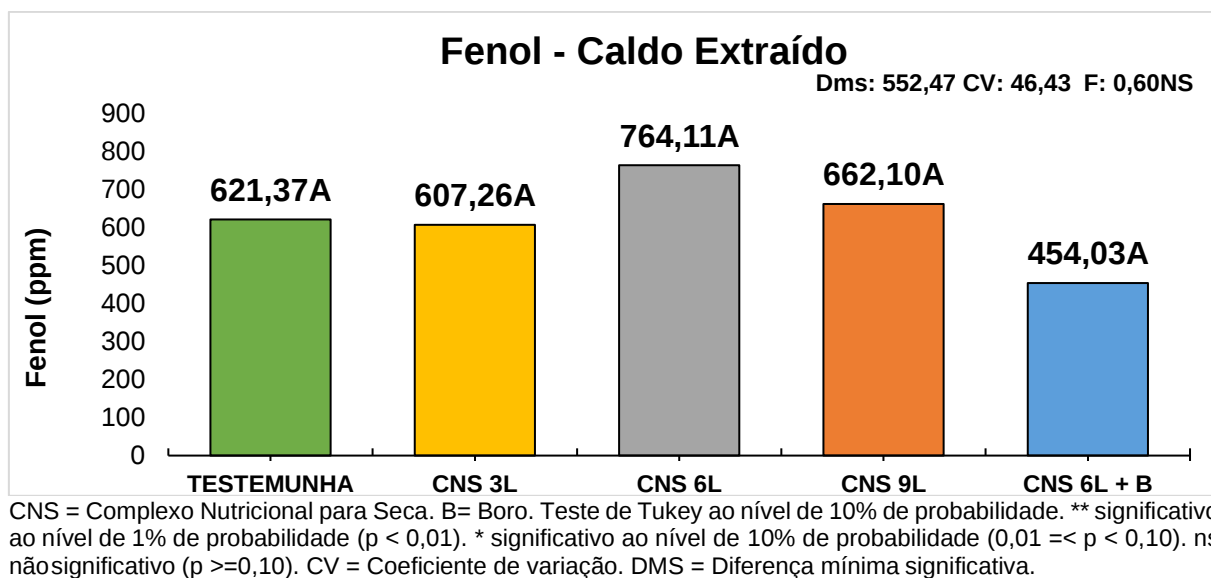


Figura 18 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para compostos fenólicos totais do caldo extraído. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

4.2 Caldo clarificado

O caldo clarificado obtido após o processo de purificação foi submetido as seguintes análises: Brix, ART, Pol, Pureza, pH, Acidez Total, Cinzas, Turbidez, Teor de Amido e Compostos Fenólicos Totais. Os resultados encontrados estão representados graficamente nas Figuras 19 à 26.

Para realização da purificação do caldo, a quantidade de sólidos solúveis foi padronizada à 16°Brix através da adição de água deionizada. Ao analisar a concentração presente no caldo clarificado, verificou-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 19).

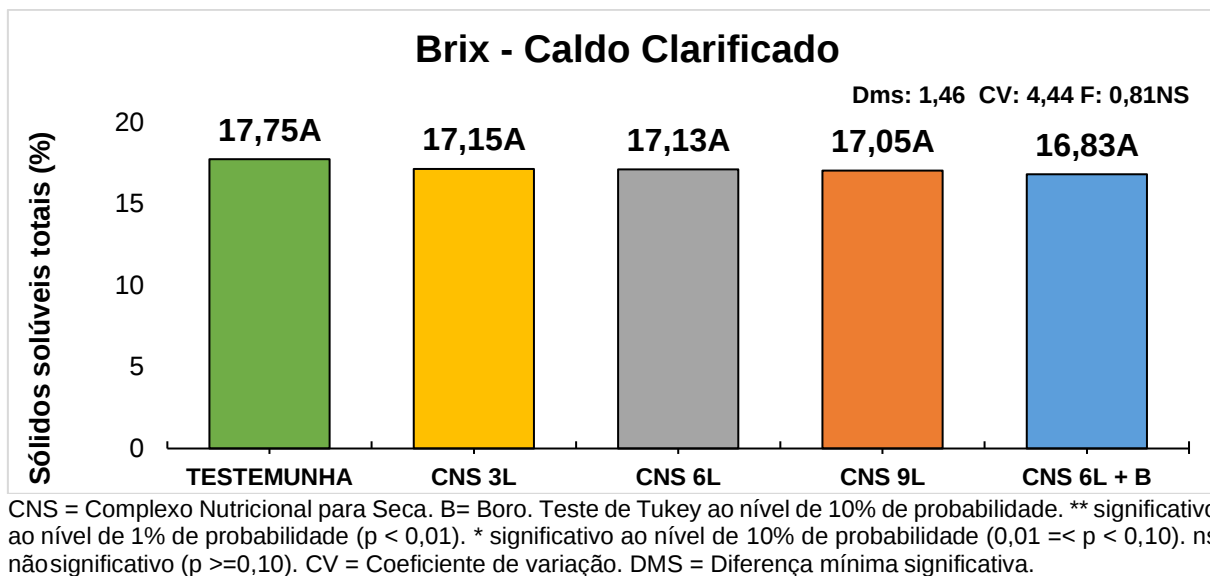
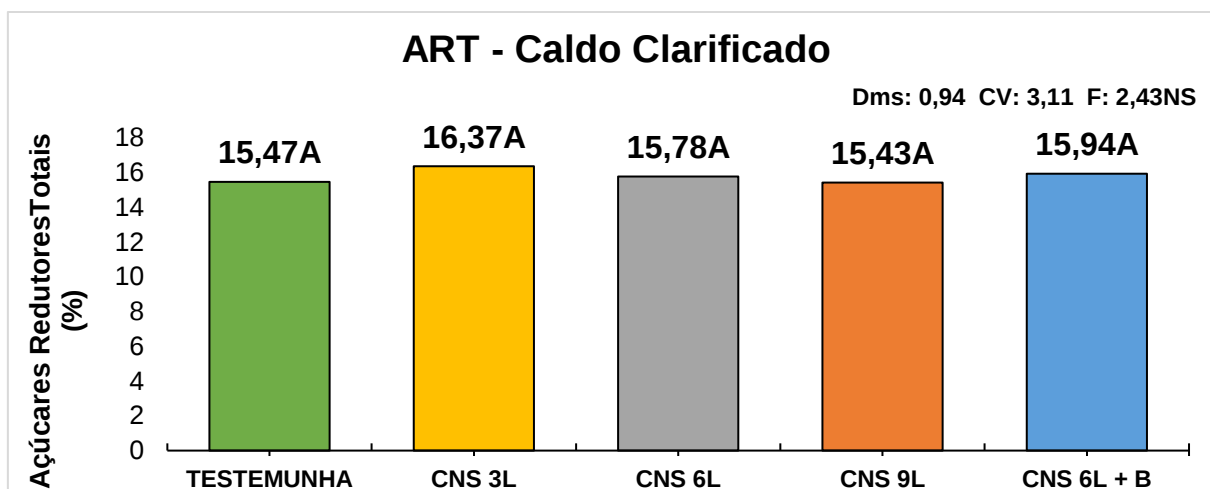


Figura 19 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para brix do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

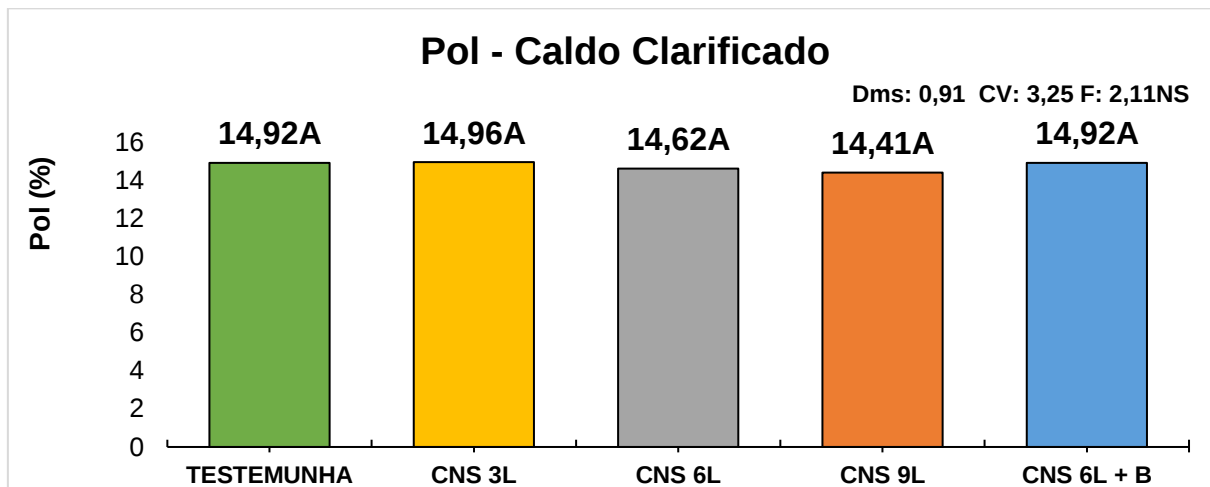
As médias de ART e Pol dos caldos clarificados foram menores do que os valores encontrados para o caldo extraído. Isto se deve a adição de água durante a purificação. Nesse contexto, analisando-se a Figura 20, observou-se que os resultados obtidos para ART do caldo clarificado indicam que os tratamentos estudados não diferiram estatisticamente entre si. Do mesmo modo, a Pol obtida apresentou efeito não significativo entre os tratamentos analisados (Figura 21).

Observando-se a Figura 22, nota-se que a Testemunha obteve o menor valor de Pureza Aparente entre os tratamentos. O tratamento CNS 6L+B obteve a maior pureza, apresentando uma média 7,6% superior ao valor observado para caldo proveniente de colmos sem tratamento nutricional. Este resultado demonstrou que o uso de CNS 6L+B contribuiu para maior retirada de impurezas presentes no caldo extraído.



CNS = Complexo Nutricional para Seca. B= Boro. Teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,10$). ns não significativo ($p \geq 0,10$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 20 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores totais do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.



CNS = Complexo Nutricional para Seca. B= Boro. Teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,10$). ns não significativo ($p \geq 0,10$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 21 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pol do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

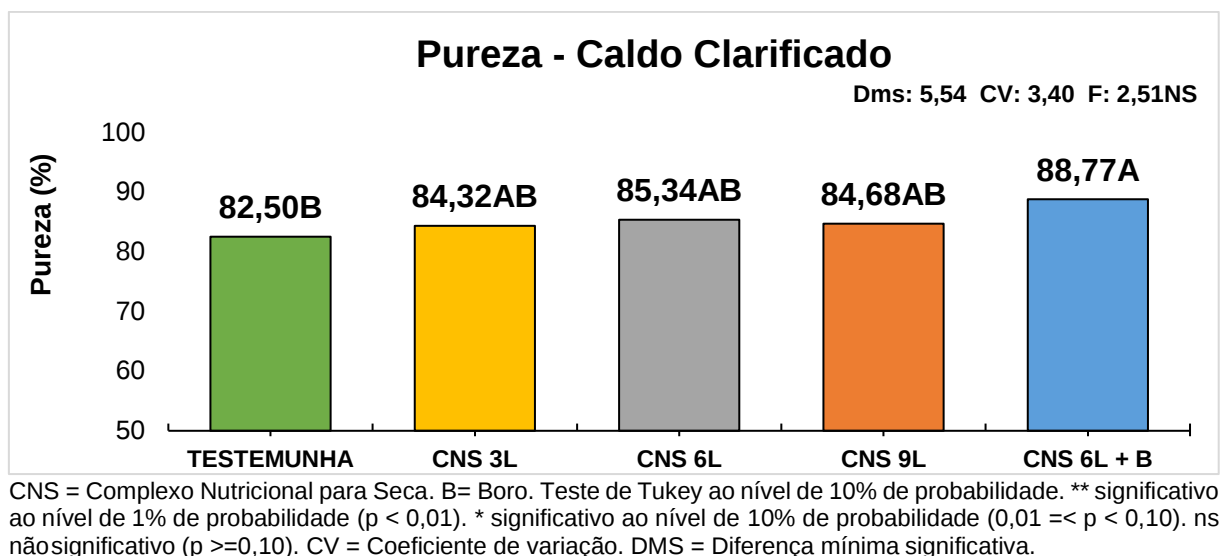


Figura 22 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pureza do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

A adequação do caldo extraído a pH 6,0 é fundamental para garantir excelente processo de clarificação com a preservação dos nutrientes. Considerando os resultados observados para o pH, verificou-se que os valores médios não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 23), mantendo-se todos com pH 6,0, conforme estabelecido.

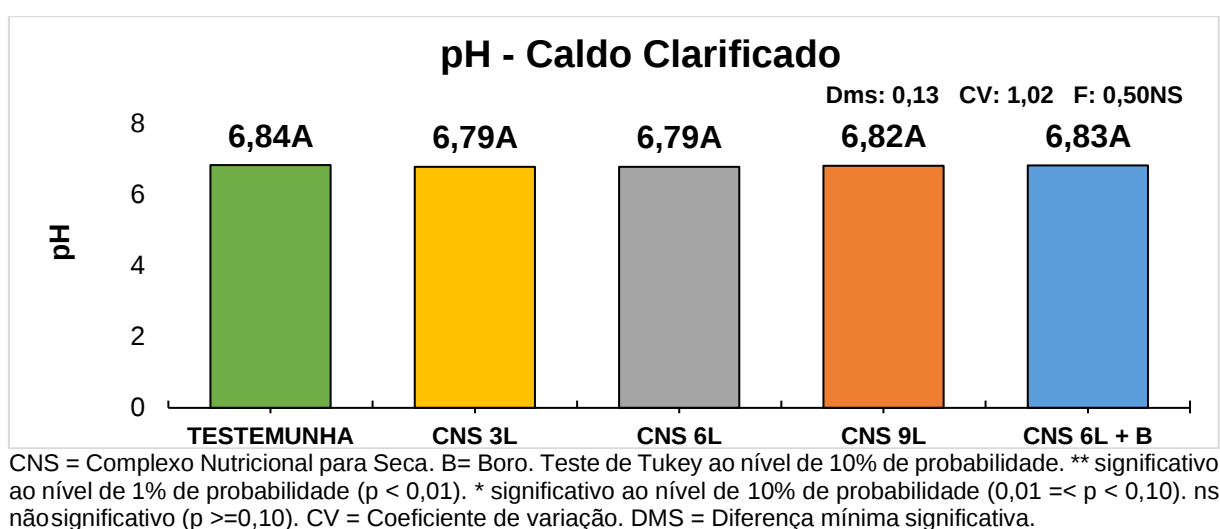


Figura 23 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pH do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

Entretanto, houve a redução média de 74,78% da acidez total dos caldos clarificados em relação aos teores encontrados no caldo extraído (Figura 16 e 24). De acordo com Albuquerque (2011), tal efeito se deve a etapa de caleagem realizada durante a clarificação, uma vez que este processo proporciona a adsorção e a precipitação dos ácidos presentes no caldo.

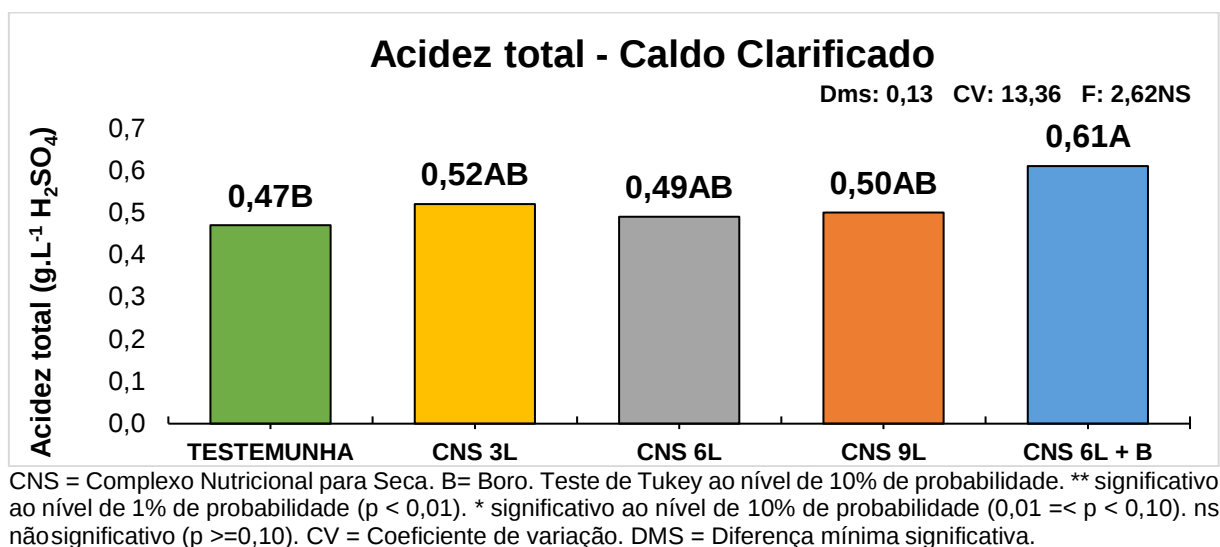


Figura 24 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para acidez total do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

De acordo com a Figura 25, não houve diferenças significativas entre as médias obtidas para o teor de amido nos caldos clarificados. Os menores valores foram observados para CNS 6L e CNS 6L+B, os quais exibiram uma redução de 82,63% e 88,81%, respectivamente, em relação aos caldos extraídos (Figura 17).

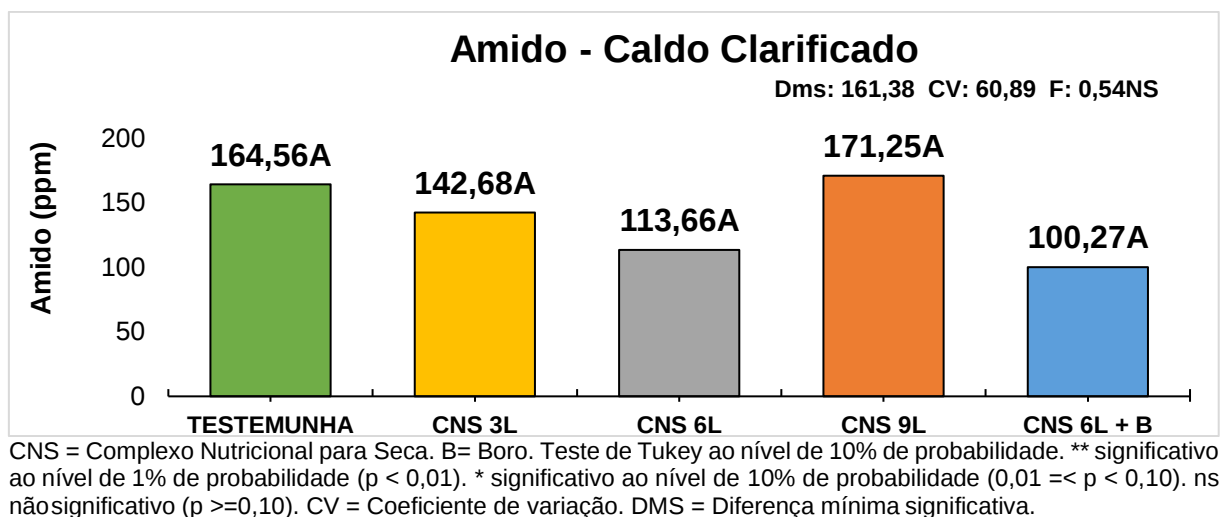


Figura 25 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para amido do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021

Por outro lado, a menor média de compostos fenólicos totais foi observada para CNS 3L, sendo também o tratamento que obteve a maior eficiência (56,57%) na remoção destas substâncias (Figuras 18 e 26). Apesar disto, não houve diferenças significativas entre os valores encontrados nos tratamentos testados.

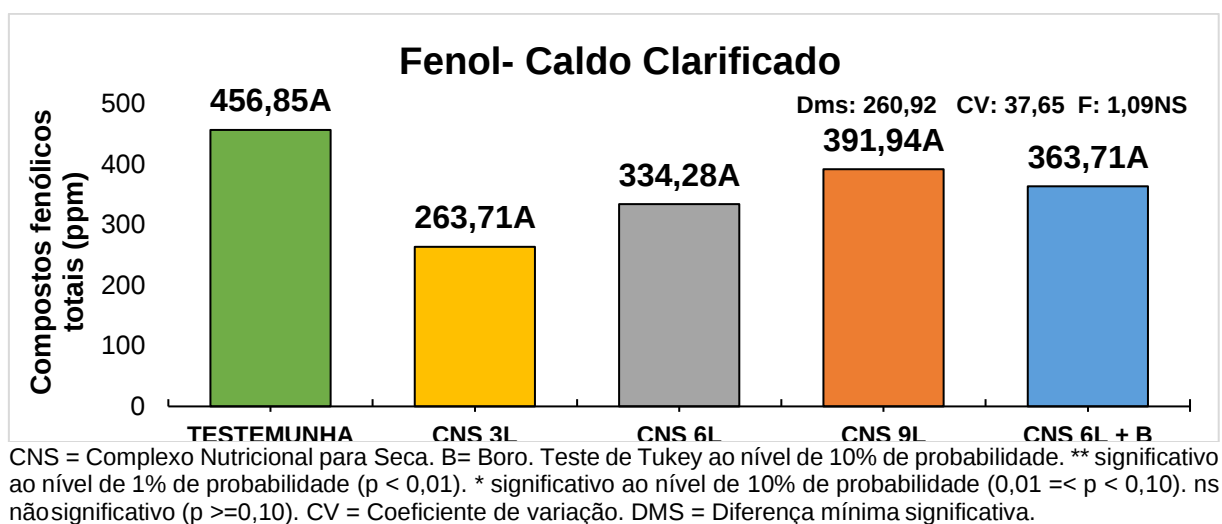


Figura 26 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para compostos fenólicos totais do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

4.3 Mosto

Para que o processo fermentativo seja iniciado é essencial que o inóculo seja colocado em um meio que atenda todas as exigências das leveduras (AMORIM, 2005). O caldo clarificado obtido após o processo de purificação foi diluído até 16°Brix e, posteriormente, o pH foi ajustado para 4,5 utilizando-se ácido sulfúrico 1N.

Assim, com o mosto preparado, foram realizadas análises de ART e Acidez Total. Os resultados encontrados estão representados graficamente nas Figuras 33 e 34.

A quantificação dos açúcares do mosto é importante para cálculo da eficiência fermentativa. Inicialmente deve-se calcular o volume de etanol prático (mL) que pode ser produzido de acordo com o ART do mosto. O rendimento real é calculado multiplicando o teor de etanol pelo volume dos vinhos. Por fim, a eficiência de fermentação é calculada dividindo o rendimento real de etanol pelo rendimento prático de etanol (FERNANDES, 2011). Em relação aos teores de ART (Figura 27), verificou-se que o tratamento com CNS 3L apresentou a maior média, diferindo significativamente dos demais.

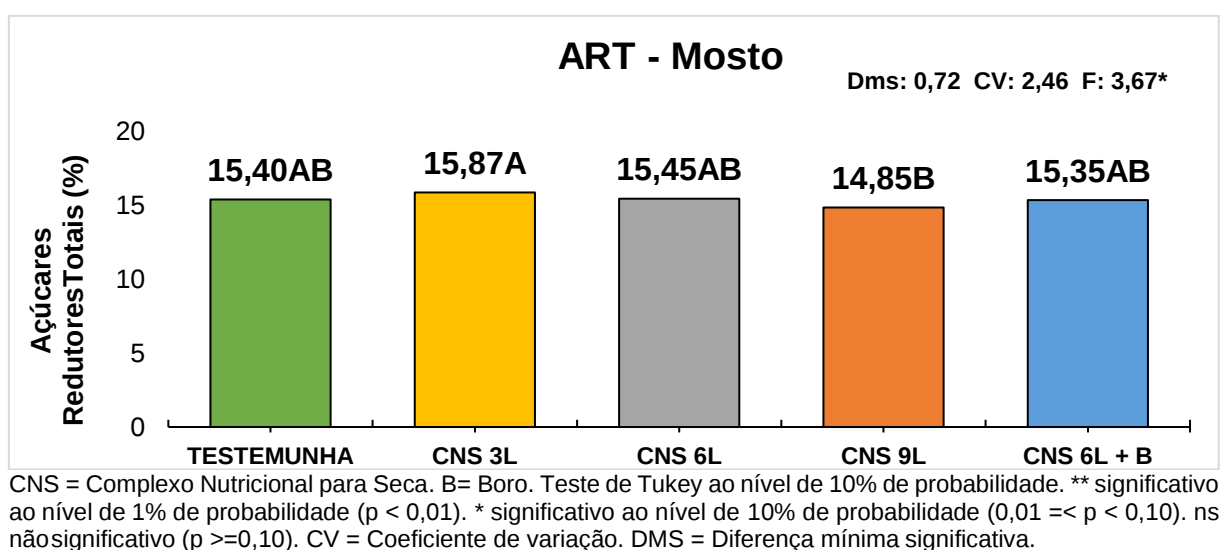


Figura 27 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores totais do mosto. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

O mosto deve possuir baixos teores de ácidos, uma vez que embora as leveduras sejam acidófilas, algumas espécies podem apresentar sensibilidade quanto a concentração de substâncias ácidas no meio (BREGAGNOLI, 2006; RIBEIRO et al., 2019).

Verificou-se que todos os tratamentos apresentaram acréscimo na quantidade de ácidos totais presentes no mosto (Figura 28) em relação ao caldo clarificado (Figura 24), sendo este comportamento esperado, pois todos passaram pela correção de pH com ácido sulfúrico.

Costa (2015) observou valores entre 1,00 e 1,06 g.L⁻¹ H₂SO₄, Freita (2017) concentrações de 1,04 à 1,09 g.L⁻¹ H₂SO₄ e Mendes (2019) quantificou 1,57 e 1,63 g.L⁻¹ H₂SO₄ em seus mostos. Os resultados encontrados nestes estudos não interferiram no processo fermentativo, demonstrando que a acidez total do presente experimento estava dentro dos teores suportados pelas leveduras.

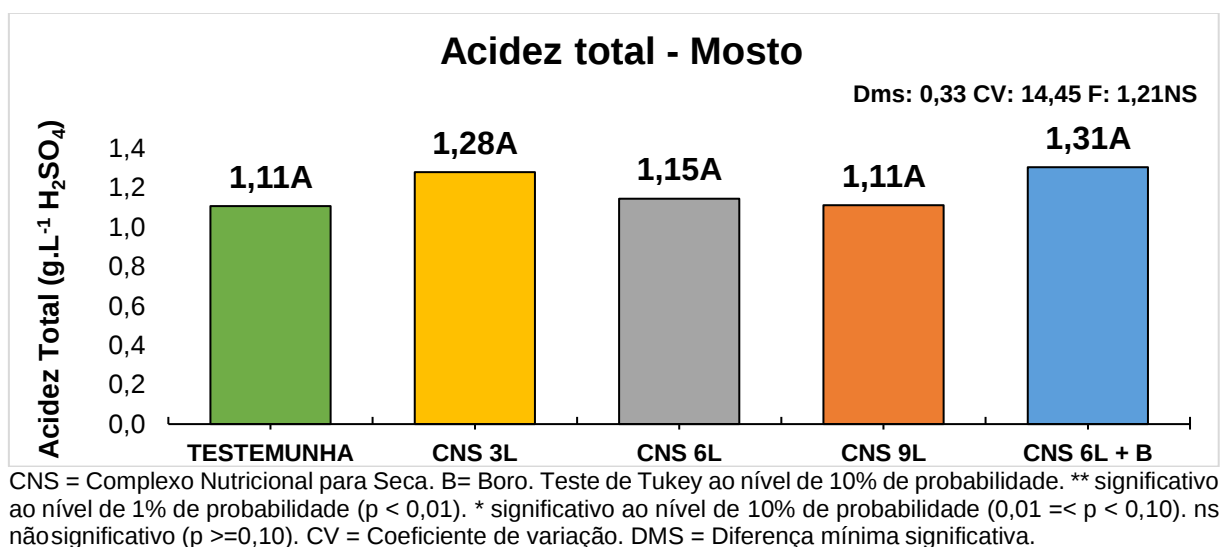
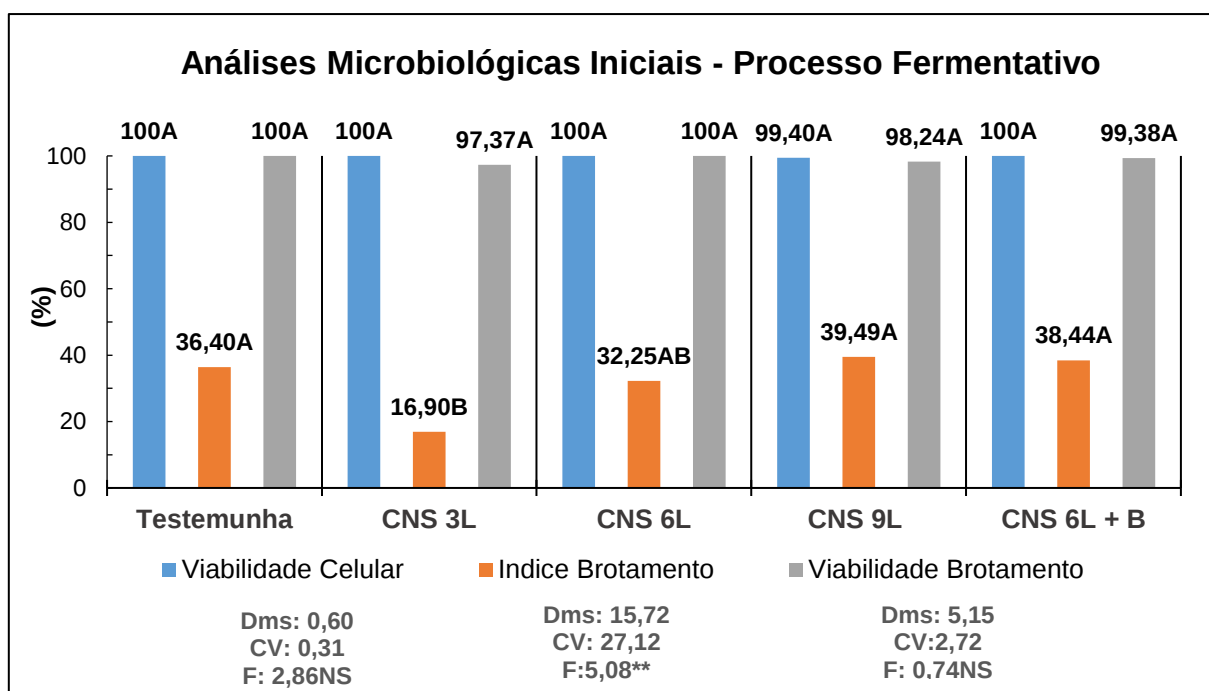


Figura 28 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para acidez total do mosto. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

4.4 Processo Fermentativo

Os resultados obtidos para viabilidade celular, índice de brotamento e viabilidade dos brotos são apresentados nas Figuras 29 e 30.

Para obtenção de fermentações com altos índices de rendimento é de extrema importância que as células das leveduras apresentem viabilidade celular igual ou superior a 85% no início do processo fermentativo (AMORIM, 2005). Analisando-se os valores obtidos para viabilidade celular e viabilidade dos brotos inicial (Figura 29), verificou-se que os valores médios apresentados pelos tratamentos se encontravam acima do parâmetro recomendado, demonstrando que a levedura estava apta a desenvolver o processo fermentativo.

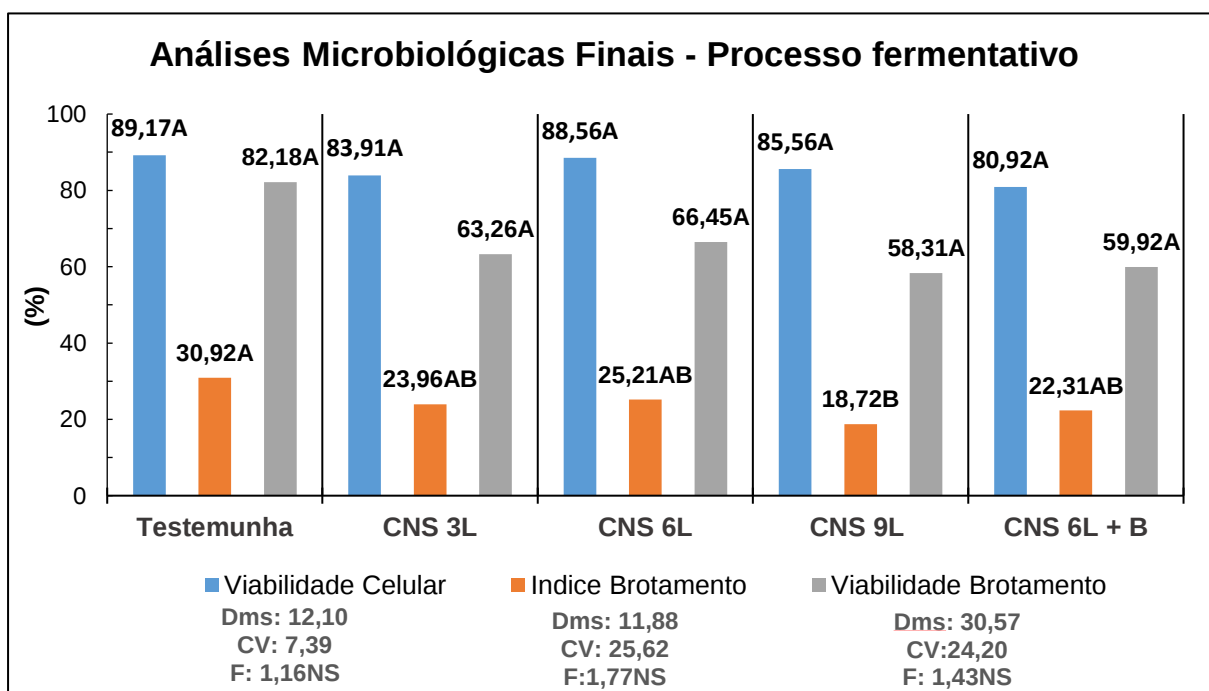


CNS = Complexo Nutricional para Seca. B= Boro. Teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,10$). ns não significativo ($p \geq 0,10$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 29 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para análises microbiológicas iniciais do processo fermentativo. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021

De acordo com os resultados presentes na Figura 30, todos os tratamentos apresentaram valores médios de viabilidade final superior a 80%, confirmando que o fermento utilizado encontrava-se viável ao final da fermentação. O processo fermentativo utilizado no Brasil é conduzido pelo sistema denominado Melle-Boinot; cuja principal característica é a recuperação das leveduras através da centrifugação do vinho, e posterior tratamento para retorno às dornas (LOPES et al., 2016).

Neste sentido, é essencial que o fermento utilizado para produção de etanol apresente altos índices de células e brotos vivos durante e, principalmente, ao final do processo, de modo a possibilitar rendimento elevado e a economia do sistema produtivo (AMORIM, 2005; LOPES et al., 2016).



CNS = Complexo Nutricional para Seca. B= Boro. Teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,10$). ns não significativo ($p \geq 0,10$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 30 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para análises microbiológicas finais do processo fermentativo. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021

Desse modo, observou-se que ao final da etapa fermentativa não foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para a viabilidade dos brotos. Apesar disto, os tratamentos com CNS obtiveram resultados inferiores a 70%.

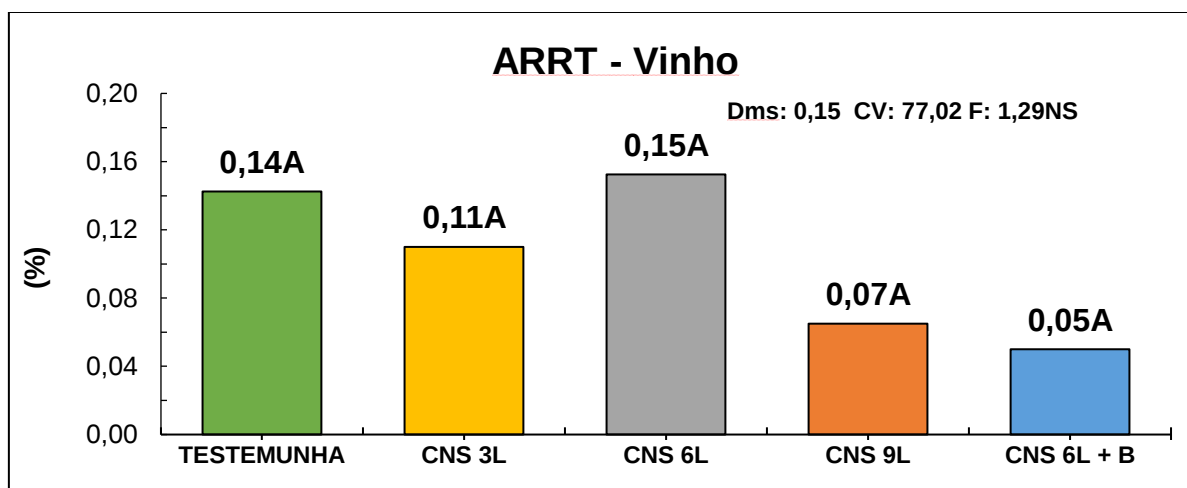
Este comportamento pode ter sido desencadeado devido ao uso de levedura prensada, uma vez que este tipo de inóculo não é adaptado ao processo fermentativo, podendo apresentar baixa tolerância aos produtos da fermentação (AMORIM, 2005; PACHECO, 2010). Tal fator, em conjunto com elevadas concentrações de nutrientes, pode ter atuado como condição estressante para as células-filhas, as quais não foram capazes de sobreviver após o brotamento.

4.5 Análises dos Vinhos

Os efeitos da qualidade da matéria-prima foram observados tanto durante quando ao final do processo fermentativo, visto que os produtos finais obtidos na fermentação estão diretamente relacionados aos componentes que se encontram disponíveis no caldo utilizado para preparo do mosto (MUTTON e MUTTON, 2002). Os resultados obtidos para Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT), Glicerol, Teor Alcoólico e a Eficiência Fermentativa são apresentados nas Figuras 31 à 34.

A análise de Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT) determina a concentração de todas as substâncias redutoras presentes no vinho que não foram aproveitadas durante a fermentação. O não aproveitamento destes açúcares pode estar relacionado ao fato de não serem fermentescíveis ou simplesmente por não terem sido consumidos pelas leveduras (CTC, 2005). Desta forma, quanto menor valor de ARRT, maior o consumo de açúcares e, conseqüentemente, a produção de etanol.

De acordo com a Figura 31, não houve diferença estatística significativa entre as médias encontradas para os tratamentos estudados. Apesar disto, nota-se que CNS 9L e CNS 6L+B obtiveram resultados 50,00% e 64,19% menores do que o teor encontrado para a Testemunha, respectivamente.



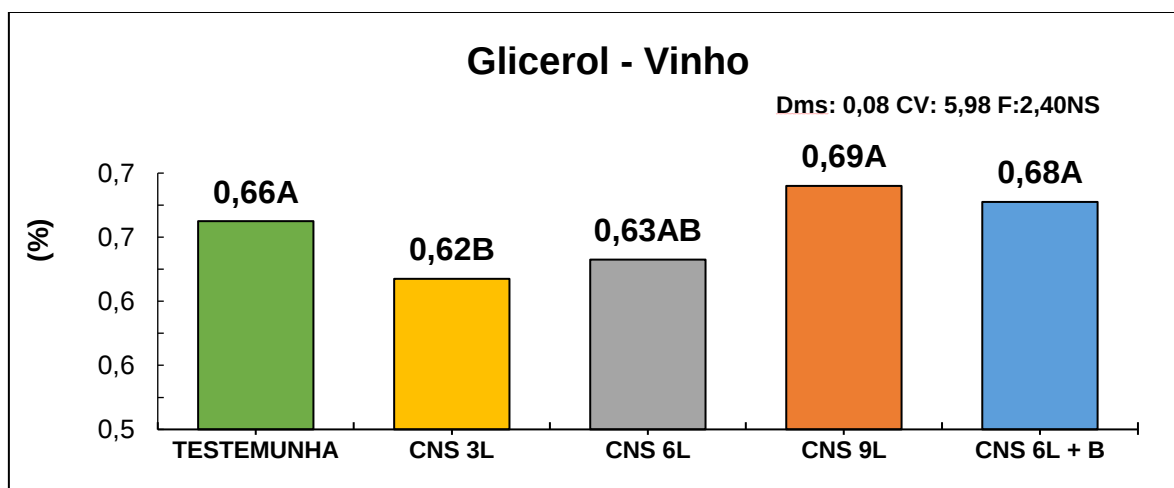
CNS = Complexo Nutricional para Seca. B= Boro. Teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,10$). ns não significativo ($p \geq 0,10$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 31 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para açúcares redutores residuais totais do vinho. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

Outro parâmetro avaliado é o teor de glicerol, sendo este metabólito produzido por leveduras em situações de estresse osmótico (AMORIM, BASSO e ALVES; 1996). De acordo com a Figura 32, todos os tratamentos obtiveram valores inferiores a 0,70%. Em seus estudos, Costa (2015) obteve concentrações entre 0,60 e 0,76% e Mendes (2019) teores de 0,66 à 0,70%. Estes resultados corroboram com o presente estudo e demonstram baixa produção desta substância.

Considerando-se o rendimento do processo fermentativo, a síntese de glicerol é indesejável, uma vez que, para produção, é necessário que parte dos açúcares

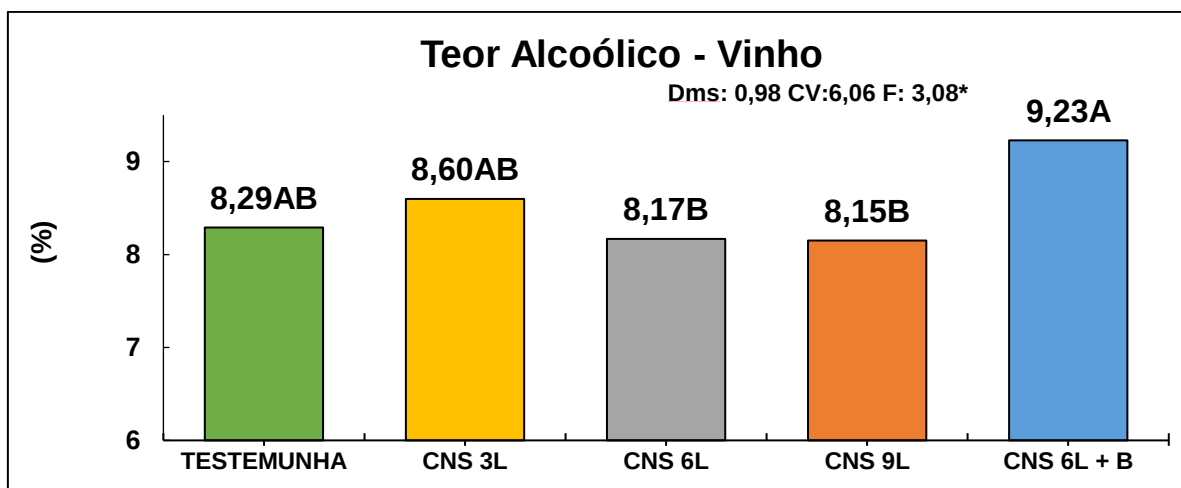
presentes no mosto sejam desviados da rota fermentativa convencional. Entretanto, sabe-se que a produção de etanol somente ocorre com a formação deste subproduto, de forma a proporcionar equilíbrio ao processo (NELSON e COX, 2019; MUTTON et al., 2019).



CNS = Complexo Nutricional para Seca. B= Boro. Teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,10$). ns não significativo ($p \geq 0,10$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 32 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para glicerol do vinho. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

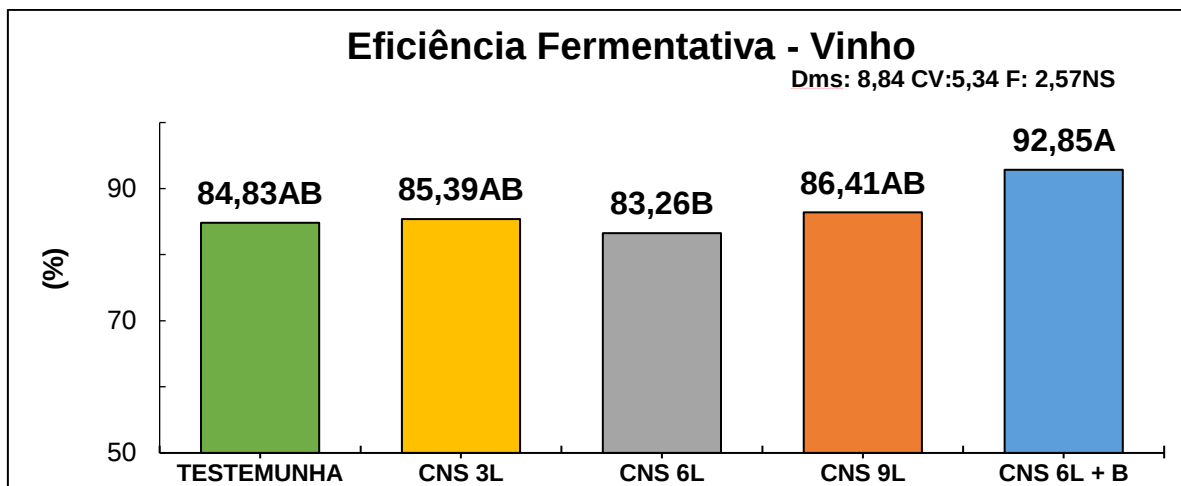
Com relação ao teor alcoólico do vinho (Figura 33), pode-se observar que CNS 6L+B obteve a maior média entre os tratamentos, exibindo valor 11,34% superior à Testemunha. Este resultado demonstra a possibilidade do aumento na produção de álcool etílico através da utilização do complexo nutricional para seca em associação com o Boro na cana-de-açúcar de final de safra. Incrementos na concentração alcoólica do vinho resultam em maiores rendimentos e ganhos econômicos.



CNS = Complexo Nutricional para Seca. B= Boro. Teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,10$). ns não significativo ($p \geq 0,10$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 33 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para teor alcoólico do vinho. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

Todo e qualquer processo industrial objetiva a eficiência de suas etapas produtivas, de modo que haja melhor aproveitamento de todos os recursos utilizados até a obtenção do produto final. Assim, o tratamento CNS 6L+B obteve aumento de 9,45% na eficiência fermentativa em relação a matéria-prima que não recebeu manejo nutricional, sendo também o único tratamento a possuir valor superior à 90% (Figura 34). Este resultado demonstrou que a utilização do tratamento nutricional dos canaviais durante a época de pré-seca pode garantir a formação de colmos de melhor qualidade.



CNS = Complexo Nutricional para Seca. B= Boro. Teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,10$). ns não significativo ($p \geq 0,10$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 34 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para eficiência fermentativa do vinho. Jaboticabal - SP. Safra 2020/2021.

5. CONCLUSÕES

A utilização de Complexo Nutricional para Seca proporcionou melhor qualidade na matéria-prima de final de safra, possibilitando o incremento da pureza aparente dos caldos extraídos independentemente da dose utilizada. Os maiores teores foram encontrados para 3 L.ha⁻¹ de CNS e 6 L.ha⁻¹ de CNS + 2 L.ha⁻¹ de Boro.

Para o caldo clarificado, o maior valor de pureza e os menores valores de turbidez e teor de amido foram encontrados para 6 L.ha⁻¹ de CNS + 2 L.ha⁻¹ de Boro.

Todos os tratamentos testados obtiveram viabilidade celular superior à 80% ao final do processo fermentativo, garantindo a integridade do fermento para fermentações posteriores.

A utilização de 6 L.ha⁻¹ de CNS em associação à 2 L.ha⁻¹ de Boro em cana-de-açúcar em final de safra permitiu a obtenção de incremento de 11,34% no teor alcoólico e 9,45% na eficiência fermentativa em relação à matéria-prima que não obteve manejo nutricional.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROLINK. 2012. **Monsanto lança três variedades de cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/monsanto-lanca-tres-variedades-de-cana-de-acucar_144956.html>. Acesso em: 19 abr 2022.

ALBUQUERQUE, L. M. **Processo de Fabricação de Açúcar**. 2. Ed. UFPE: Recife, 2011.

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology: a comprehensive study of the Saccharum source-to-sink system**. Amsterdam: Elsevier, 1973.

AMORIM, H. V. **Fermentação alcoólica, ciência & tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, 2005.

AMORIM, H.V.; BASSO, L.C.; ALVES, D.G. **Processos de produção de álcool – controle e monitoramento**. Piracicaba: FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP, 93p.,1996.

ANDRADE, E. T.; CARVALHO, S. R. G.; SOUZA L. F. Programa do proálcool e o etanol no Brasil. **Engevista**, v.11, n.2, p.127-136, 2009.

ANDRADE, L. A. B.; CARDOSO, M. G. **Cultura da cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.

AUDE, M. I. S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Cienc. Rural**, v. 23, n. 2, 1993.

AZEVEDO, L. C.; SÁ, A. S. C., ROVANI, S., FUNGARO, D. A. Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, p.351-358, 2018. <http://dx.doi.org/109771/cp.v11nesp.23173>

AZEVEDO, R. E. C.; SILVA, C. N.; GASPARATTO, F.; EMANUELLI, I. P.; CALDAS, C. S.; MAZUCHELI, J.; REZENDE, L. C. S. H. Deterioração de variedades de cana-de-açúcar e influência na produção de bioetanol. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, p.243-250, 2018.

BACCHI, O. O. S. **Ecofisiologia da Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 20 p., 1985.

BARBARA, G.; FERRO, D. A. M. Maturadores em cana de açúcar: comparação entre os princípios ativos dos produtos trinexapaque-etílico (MODDUS) e glifosato (ROUNDUP). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 48571-48578, 2020.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Jaboticabal: FUNEP, 2015.

BARBUGLI, R. A. **Influência do ambiente construído na distribuição das temperaturas do ar em Araraquara/SP**. 2004. 170 p. Dissertação (Mestre em Construção Civil), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade estadual de São Carlos, São Carlos, 2004.

BARIZI, D. **Manejo nutricional complementar de outono e os reflexos na qualidade da matéria-prima e produção de açúcar**. 2021. 37 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2021.

BATISTA, A. M. A. **Manejo de adubação foliar em cana-de-açúcar no brejo paraibano**. 2021. 39 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica), Centro de Ciências Agrárias, UNiversidade Federal da Paraíba, Areia, 2021.

BAUMGARTNER, J.G.; OTÁVIO, R.S. Líquida e foliar para citros em produção. **Boletim citrícola**, 1999.

BECARI, G. R. G. **Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2010.

BORGES, R. A.; OLIVEIRA, D. T.; OLIVEIRA, J. M.; OLIVEIRA, D. F. G. Aplicação de alfa amilase no processo e residual zero de enzima no açúcar. In: Congresso Nacional da STAB, 10., 2016, Ribeirão Preto, **10º Congresso nacional STAB - Trabalhos Apresentados**, Piracicaba: STAB, 2016.

BREGAGNOLI, F. C. R. **Comportamento fisiológico de microrganismos submetidos a biocidas convencional e natural na produção de cachaça orgânica**. 2006. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 76f. 2006.

CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista STAB**, v. 13, n. 5, p. 16-19, 1995.

CAETANO, J. M. **Modelagem agrometeorológica da cana-de-açúcar nas condições edafoclimáticas do Centro-Oeste goiano**. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/FEALQ, 1993.

CARDOZO, N. P., SENTELHAS, P. C.; PANOSSO, A. R.; PALHARES, A. L.; IDE, B. Y. Modeling sugarcane ripening as a function of accumulated rainfall in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 12, p. 1913-1925, 2015.

CASARIN, V.; STIPP, S. R. Manejo 4C: Quatro medidas corretas que levam ao uso eficiente dos fertilizantes. **Informações Agrônomicas**, n. 142, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Safra 2022/23 - Primeiro levantamento**. Brasília: CONAB, 2022.

COSTA, G. H. G. **Emprego do extrato de moringa (*Moringa oleífera* Lamarck) na clarificação do caldo de cana para produção de açúcar e etanol**. 2015. Tese (Doutorado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba: CTC, 2005. Disponível em CD ROM.

DAAE ARARAQUARA. **Índice pluviométrico.** Disponível em: <<https://daearaquara.com.br/indice-pluviometrico/>>. Acesso em: 14 mai 2022.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana.** Sertãozinho: Zanini, v. 2, 752 p., 1977.

DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R. Calagem e Adubação 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: Editora São Paulo, 2006, p. 107-119.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 882 p.

DORNEMANN, G. M. **Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e não-redutores.** 2016. 37 f. Monografia (graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2016.

DUGGER, W. M. Functional aspects of Boron in Plants. **Advances in Chemistry**, v. 1, n. 1, p. 112-129, 1973.

EGGLESTON, G. Hot and cold lime clarification in raw sugar manufacture II: Lime addition and settling behavior. **International Sugar Journal**, v. 102, n. 1221, p. 453-457, 2000.

ELSHARIF, A. A.; ABU-NASER, S. S. An Expert System For Diagnosing Sugarcane Diseases. **International Journal of Academic Engineering Research (IJAER)**, v. 3, n. 3, p. 19-27, 2019.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FERNANDES, A. C. 2011. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** Piracicaba: STAB.

FIGUEIREDO, I. Z.; MACIEL, B. F.; MARQUES, M. O. A qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de álcool. **Nucleus**, Edição Especial, 2008.

FLORIANO, P. H. P. **Aspectos nutricionais e adubação nitrogenada para cana-de-açúcar**. 2021. 23 p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2022.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Crop yield response to water**. Italy: FAO, 2012.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Crops and livestock products**. 2022. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso: 23 mai 2022.

FRANCO, A. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto e vinhaça: nitrogênio no sistema solo-planta, produtividade e características tecnológicas**. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

FRANCO, A.; MARQUES, M. O.; MELO, W. J. Sugarcane grown in an oxisol amended with sewage sludge and vinasse: Nitrogen contents in soil and plant. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 408-414, 2008.

FREE METEO. **Araraquara - Histórico climático por mês**. Disponível em: <<https://freemeteo.com.br/clima/araraquara/historico/historico-por-mes/?gid=3471766&station=22822&month=8&year=2020&language=portuguesebr&country=brazil>>. Acesso em: 14 mai 2022.

FREITA, C. M. **Substituição de floculante comercial por biofloculante de *Moringa oleífera* Lamarck no setor sucroenergético**. 2017. 99 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M. M. **Crop-water Relations**. New York: John Wiley. 1983. 547 p.

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1/2, p. 101-128, 2013.

GÓES-FAVONI, S. P.; MONTEIRO, A. C. C.; DORTA, C.; CRIPPA, M. G.; SHIGEMATSU, E. Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.4, p.285-296, 2018.

GONÇALVES, Y. N. A.; MARTINEZ, A. L. A. Maturação das variedades de cana-de-açúcar SP 80-1816 e RB 92-579 com aplicação de trinexapaque etílico. **Gl. Sci Technol**, v.13, n. 1, p. 150-160, 2020.

GRANT, C. A.; FLATTEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, p.1-5, 2001.

GUARÇONI, A.; FAVARATO, L. F.; STIPP, S. R.; CASARIN, V. Manejo da fertilidade do solo para uma produção agropecuária mais sustentável. **Incaper em Revista**, v. 10, p. 22-42, 2019.

HERLING, V. R.; PEREIRA, L. E. T. **Apostila I: Morfologia de plantas forrageiras**. Pirassununga: USP. 2016.

HERVATIN, C. M. **Adubação foliar associada à aplicação de maturador na cana-de-açúcar em início de safra**. 2018. 101 p. Dissertação (Mestre em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

HONIG, P. **Princípios de Tecnologia Azucareira**. Companhia Editorial Continental: Mexico, 1969.

HUANG, H.; LONG, S.; SINGH, V. Modeling and analysis: biodiesel and ethanol co-production from lipid-producing sugarcane. **Biofuels, bioproducts, biorefining**, v. 10, p. 299-315, 2016.

JAMES, G. L. An introduction to sugarcane. In: JAMES, G. L. (Ed.) **Sugarcane**. 2. Ed. Oxford: Blackwell Publishing, p. 1-19, 2004.

JAMRO, G. H.; KAZI, B. R.; OAD, F. C.; JAMALI, N. M.; OAD, N. L. Effect of Foliar Application of Micro Nutrients on the Growth Traits of Sugarcane Variety Cp-65/357 (Ratoon Crop). **Asian Journal of Plant Sciences**, v.1 p.462-463, 2002.

JORNAL CANA. **Acúmulo de Sacarose no Colmo da cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://jornalcana.com.br/acumulo-de-sacarose-no-colmo-da-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 23 mai 2022.

LACERDA, A. R. S.; SOUZA, A. R.; SANTOS, T. M.; CLEMENTE, J. M.; DUARTE, A. R.; MACHADO, M. G. Produtividade da cana-de-açúcar em resposta a adubação NPK em diferentes épocas. *Humanidades & Tecnologia em Revista (FINOM)*, v. 18, 2019.

LANE, J. H.; EYNON, L. **Determination of reducing sugars by Fehling solution with methylene blue indicator**. London: Norman Rodger, 1934.

LEE, S. S.; ROBISON, F. M.; WANG, H. Y. 1981. Rapid Determination of Yeast Viability. **Biotechnology and Bioengineering Symp**, p. 641–649, 1981.

LEHNINGER, T. M.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 6ª Edição, 2014. Ed. Artmed

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C., SILVA, M. A., VENTURINI FILHO, W. G.; SURIANO, A. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 726-732, 2015.

LEITE, M. R.; ZANETTA, D. M. T.; TREVISAN, I. B.; BURDMANN, E. A.; SANTOS, U. P. O trabalho no corte de cana-de-açúcar, riscos e efeitos na saúde: revisão da literatura. **Revista de Saúde Pública**, v. 52, p. 80, 2018.

LEITE, R. A. **Compostos fenólicos do colmo, bainha, folha e palmito da cana-de-açúcar**. 2000. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

LIMA, R. B. **Processo de clarificação do caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LIMA, R. B. **Processo de clarificação do caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. 2012. 62f. Dissertação (Mestre em Ciências), INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo, 2012.

LOPES, M. L.; PAULILLO, S. C. L.; GODOY, A. CHERUBIN, R. A.; LORENZI, M. S.; GIOMETTI, F. H. C.; BERNARDINO, C. D.; NETO, H. B. A.; AMORIM, H. V. Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. **Brazilian Journal Microbiology**, v. 47, p. 64-76, 2016.

MACHADO, E C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: Paranhos, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição de Plantas**. São Paulo: Ceres, 638 p., 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, 2. Ed., Piracicaba: POTAFÓS, 1997.

MARANGONI, F. F. **Boro e zinco no sulco de plantio na cultura da cana-de-açúcar**. 2016. 77 f. Tese (Doutor em Agronomia), Universidade do Oeste paulista, Presidente Prudente, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 651 p., 2012.

MAY, A.; RAMOS, N. P. **Uso de gemas individualizadas de cana-de-açúcar para a produção de mudas**. Jaguariúna: Embrapa, p. 1-19, 2019.

MENDES, F. Q. **Aplicação de etefom em genótipos de sorgo sacarino e seus reflexos na produção de bioetanol**. 2019. 77 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

METEOBLUE. **Dados históricos simulados de clima e tempo para Araraquara.** Disponível em: <https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/araraquara_brasil_3471766>. acesso em: 14 mai 2022.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; GARCIA, J. L. F.; REIS, B. L. S. F. S. **O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política.** BNDES Setorial, 2012.

MOORE, P. H.; BOTHA, F. C. **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology.** Ames: Wiley & Sons, 2014. 765 p.

MORTVEDT, J. J. Bioavailability of micronutrients. In: **Hand book of soil science.** SUMNER, M. E. (Ed). Boca Raton: CRC Press, 2000.

MOURA, L. C.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; BASTOS, F. J. C.; CÉLIA, J. A.; TEIXEIRA, M. B. Índice de maturação da cana-de-açúcar fertirrigada sobre diferentes lâminas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 1, p. 64-76, 2014.

MUTTON, M. A. 1993. **Modo de ação do sal de isopropilamina de N-(fosfonometil) glicina (glifosate) e efeito maturador na cana-de-açúcar.** Guarujá: Seminário Roundup Efeito Maturador.

MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Fisiologia da maturação e maturadores em cana-de-açúcar. In: Fábio Cesar da Silva; Bruno José Rodrigues Alves; Pedro Luiz de Freitas. (Org.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos.** 1º ed, p. 222-287, Brasília: EMBRAPA, 2015.

MUTTON, M. J. R.; FERRARI, F. C. S.; FREITA, L. A.; FREITA, C. M.; ANDRIETTA, M. G. S.; ANDRIETTA, S. R. Interaction between the production of ethanol and glycerol in fed-batch bioreactors. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 2, p. 389–394, 2019.

MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Maturadores químicos em cana-de-açúcar: III – Efeitos na fermentação etanólica e microbiota do mosto.** Recife: STAB, 2002.

MUTTON, M. J. R.; RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L. L.; STUPIELLO, J. P., MUTTON, M. A. Mahanarva fimbriolata infestation in sugarcane: impacts on ethanol production. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol**, 2010.

NICCHIO, B. **Fontes de fósforo e enxofre para cana-de-açúcar**. 2018. 178 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia/Solos), Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

NICCHIO, B.; SANTOS, G. A.; LINO, A. C. M.; RAMOS, L. A.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito da adubação foliar em soqueira de cana-de-açúcar. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 2, p. 10–24, 2020.

OLIVEIRA, C. A. **Aula 7: Cultura da cana-de-açúcar**. e-Tec Brasil. 2016.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Revista Ceres**, v. 59, n.6, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000600014>

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 34, p. 1137-1145, 2010.

PACHECO, T. F. **Fermentação alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

PAMQVIST, E.; HAHN-HÄGERDAL, B. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: inhibitors and mechanisms of inhibition. **Bioresource Technhonology**, v. 74, p. 25-33, 2000.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. 2006. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2006.

PRADELA, V. A. **Manejo da adubação mineral e orgânica na nutrição e produtividade agroindustrial de variedades de cana-de-açúcar em ambientes de produção restritivos**. 2021. 69f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2021.

PRADO FILHO, A. **Aplicação foliar de nutrientes e hormônios na cana-de-açúcar em início de safra: produção e qualidade da matéria-prima**. 2019. 99 p. Dissertação (Mestre em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 8. ed. São Paulo: Ed. da UNESP, 2008.

RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.2, p. 120- 129, 2011.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017.

RIBEIRO, N. N.; FREITA, L. A.; TRALLI, L. F.; SILVA, A. F.; FREITA, C. M.; MENDES, F. Q.; TEIXEIRA, V.; SILVA JUNIOR, C. N.; MUTTON, M. J. R. Otimização das condições fermentativas de *Pichia membranifaciens* para produção de etanol de segunda geração. **Química Nova**, v. 42, n. 7, p 720-728, 2019.

RODRIGUES, G. S. S. C.; ROSS, J, L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: EDUFU, 269 p., 2020.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: IB/UNESP, 101 p., 1995.

ROSA, P. A. L. **Nutrição e desempenho agrônômico da cana-de-açúcar inoculada com bactérias promotoras de crescimento associado à redução da adubação fosfatada**. 2021. 206 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2021.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

SANTOS, D. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. In: **Recomendações técnicas para cultura da cana-de-açúcar no estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agronômico, 1977, 107 p. (Circular IAPAR, 6).

SANTOS, D. M. A.; RAMOS, M. R.; MARANGONI, H.; BARBIERI, R. S.; CUNHA, M. L. O.; CORDEIRO, L. F. S. Análise econômica da adubação foliar em algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) cultivado em Palmas (TO). **Revista Sítio Novo**, v. 5, n. 3, p. 75-83, 2021.

SHAHIDI, F.; NACZK, **Phenolics in food and nutraceuticals**. Boca Raton: CRC, , 558 p., 2004.

SILVA, D. M.; ANDRADE, N. D. Efeito dos métodos Brix e cromatografia para a determinação de açúcares redutores residuais totais. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v.10, v.20, p. 186-202, 2018.

SILVA, F. C.; MUTTON, M. J. R.; CÉSAR, M. A. A.; MACHADO Jr., G. R.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J.P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Org.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. 1a.ed. Brasília: EMBRAPA, 2015, p. 288-359.

SILVA, J. P. N.; SILVA, M. R. N. **Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar**. Inhumas: IFG, 2012.

SILVA, M. V. B. **Efeito da adição de compostos fenólicos sobre o crescimento de levedura etanológica (*saccharomyces* sp.) em meio sintético e em caldo de cana-de-açúcar**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SILVA, S. F. **Eficiência da adubação foliar suplementar de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar**. 2020. 36 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2020.

SIMIONI, K. R.; SILVA, L. F. L. F.; BARBOSA, V.; RÉ, F. E.; BERNARDINO, C. P.; LOPES, M. L.; AMORIM, H. V. Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 24, p. 36-39, 2006.

SOBRAL, A.F.; WEBER, H. Nutrição mineral de cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, P. 103-122, 1983

SQM VITAS. **Lei do mínimo**. 2022a. Disponível em: <<https://sqm-vitas.com.br/nutricao/lei-do-minimo/>>. Acesso em: 24 mai 2022.

SQM VITAS. **Mobilidade dos Nutrientes**. 2022b. Disponível em: <<https://sqm-vitas.com.br/nutricao/mobilidade-dos-nutrientes/>>. Acesso em: 24 mai 2022.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira. Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 129, p. 14-20, 2010.

STUPIELLO, J. P. Impactos do complexo broca-podridão vermelha no processamento de açúcar e álcool. **Anais...** Piracicaba: [s.n.], 2005.

STUPIELLO, J. P. O uso de processos enzimáticos. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 29, n.1, p. 7, 2010.

STUPIELLO, J.P. Pureza da cana e seu impacto no processamento. **STAB – Sociedade dos Técnicos Açúcareiros e Alcooleiros do Brasil: açúcar, álcool e subprodutos**, v.18, n.3., p.12, 2000.

SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975)**. Campinas: Hucitec, 1979.

TOKESHI, H. **Cana-de-açúcar**. In: FERREIRA, M. E. & Cruz, M. C. P. Simpósio sobre Micronutrientes na Agricultura, 1., POTAFOS/CNPq, p. 485-499, 1991.

VALSECHI, O. A. **Avaliação da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar após o corte, em início de safra-cultivar RB765418**. 1994. 68 f. Dissertação (Mestrado em

Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

VIANA, R. S. **Aplicação de maturadores químicos no final de safra, associada à eliminação de soqueira em área de reforma do canavial**. 46 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

VIDOTTI, J. P. B. **Adubação potássica na cana-de-açúcar**. 2021. 25 p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2021.

VIECELLI, C. A. **Guia de deficiências nutricionais em plantas**. Toledo:PUCPR Câmpus Toledo/Grupo Marista,ASSOESTE, 2017.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Encarte do informações agrônômicas**, n. 97, 2002.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C.; OTTO, R.; QUINTINO, T. A. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Repositório CNPTIA: EMBRAPA, 2005.

WEATHER SPARK. **Histórico de condições meteorológicas em 2020 em Araraquara**. Disponível em:
 <<https://pt.weatherspark.com/h/y/30095/2020/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-durante-2020-em-Araraquara-Brasil>>.
 Acesso em: 14 mai 2022.

YOKOYA, F. Problemas com contaminantes na fermentação alcoólica. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 9, n. 6, p. 38-39, 1991